



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TE141599**

**PENENTUAN LOKASI GANGGUAN HUBUNG SINGKAT PADA  
JARINGAN DISTRIBUSI 20 kV PENYULANG TEGALSARI  
SURABAYA DENGAN METODE IMPEDANSI BERBASIS GIS  
(*GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM*)**

Thoriq Aziz Al Qoyyimi  
NRP 2214105006

Dosen Pembimbing  
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.  
Ir. Ni Ketut Aryani, MT

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**FINAL PROJECT - TE 141599**

***DETERMINING LOCATION SHORT CIRCUIT FAULT FOR  
DISTRIBUTION NETWORK SYSTEM 20 kV SURABAYA  
TEGALSARI FEEDER WITH IMPEDANCE METHOD BASED  
GIS (GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM)***

Thoriq Aziz Al Qoyyimi  
NRP 2214105006

Counsellor Lecturer  
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.  
Ir. Ni Ketut Aryani, MT

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty Of Industry Technology  
Sepuluh Nopember Institute Of Technology  
Surabaya 2017

## **PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Penentuan Lokasi Gangguan Hubung Singkat Pada Jaringan Distribusi 20 kV Penyulang Tegalsari, Surabaya dengan Metode Impedansi berbasis GIS (*Geographic Information System*)**” adalah benar benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Januari 2017

Thoriq Aziz Al Qoyyimi  
NRP. 2214105006

**PENENTUAN LOKASI GANGGUAN HUBUNG SINGKAT PADA  
JARINGAN DISTRIBUSI 20 kV PENYULANG TEGALSARI  
SURABAYA DENGAN METODE IMPEDANSI BERBASIS GIS  
(GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM)**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Jurusan Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui :**

**Dosen Pembimbing I**



**Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.**  
**NIP. 194907151974121001**

**Dosen Pembimbing II**



**Ir. Ni Ketut Aryani, MT.**  
**NIP. 196509011991032002**



**PENENTUAN LOKASI GANGGUAN HUBUNG SINGKAT PADA  
JARINGAN DISTRIBUSI 20 kV PENYULANG TEGALSARI  
SURABAYA DENGAN METODE IMPEDANSI BERBASIS GIS  
(GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM)**

Nama : Thoriq Aziz Al Qoyyimi  
NRP : 2214105006  
Dosen Pembimbing 1 : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.  
Dosen Pembimbing 2 : Ir. Ni Ketut Aryani, MT

**ABSTRAK**

Dalam penyaluran energi listrik dari gardu ke pusat beban diperlukan saluran distribusi. Permasalahan yang sering terjadi pada saluran distribusi adalah gangguan hubung singkat. Seringkali lokasi gangguan tidak dapat segera diketahui letak lokasinya, sehingga memperlambat proses penanganan gangguan. Dengan menggunakan metode berbasis impedansi, jarak lokasi gangguan dapat diperkirakan. Hasil perhitungan jarak lokasi kemudian diimplementasikan menggunakan GIS (*geographic information System*) aset pemetaan PLN di Surabaya, sehingga dapat memberikan visualisasi yang baik terhadap perkiraan lokasi gangguan yang terjadi.

Berdasarkan hasil percobaan yang dilakukan, didapatkan besar nilai error untuk masing-masing tipe gangguan. Untuk tipe gangguan satu fasa ke tanah nilai error terbesar adalah 1.091% dan rata-rata selisih jarak 9.559 m, untuk gangguan fasa ke fasa 1.017% dan rata-rata selisih jarak 9.04 m, untuk gangguan tiga fasa adalah sebesar 1.031% dengan rata-rata selisih jarak adalah 9 m.

**Kata Kunci :** Gangguan Hubung Singkat, Metode Impedansi, *GIS*  
(*Geographic Information System*)

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **DETERMINING LOCATION SHORT CIRCUIT FAULT FOR DISTRIBUTION NETWORK SYSTEM 20 kV SURABAYA TEGALSARI FEEDER WITH IMPEDANCE METHOD BASED GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM (GIS)**

Name : Thoriq Aziz Al Qoyyimi  
NRP : 2214105006  
Counsellor Lecturer 1 : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.  
Counsellor Lecturer 2 : Ir. Ni Ketut Aryani, MT

## **ABSTRACT**

In the distribution of electrical energy from the substation to the load center requires the distribution channels. The common problems that usually happen is the short circuit disturbance. Often the disturbance location cannot be determined immediately, hence slowing the maintenance process. With impedance based method, the location range of the disturbance can be estimated. Then using the GIS (Geographic Information System) mapping assets at PLN Surabaya, the calculated location range is being implemented so that the system can give a clear visualization towards the estimated disturbance location that occurs.

Based on the result of experiments, we got the error value of each type of disturbance. For the line to ground fault, the maximum error value is 1.091% and average difference distance of 9.559 m, for the line to line fault the error value is 1.017% and average difference distance of 9.04 m, and then for the three phase fault the maximum error value is 1.031% with average difference distance is 9 m.

**Keywords :** Short Circuit, Impedance based Method, *GIS* (Geographic Information System)

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran ALLAH SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik dan hidayah-Nya, sehingga penelitian dan penulisan tugas akhir dengan judul **“Penentuan Lokasi Gangguan Hubung Singkat Pada Jaringan Distribusi 20 kV Penyulang Tegal Sari Surabaya dengan Metode Impedansi Berbasis GIS (*Geographic Information System*)”** ini dapat diselesaikan dengan baik.

Penulis menyadari bahwa selama proses penyusunan Tugas Akhir ini mengalami kendala-kendala, namun berkat doa, nasihat, bimbingan, bantuan dari berbagai pihak dan berkah dari Allah SWT sehingga semua kendala yang ada dapat diatasi oleh penulis. Dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Kedua Orang tua tercinta, Ayahanda Mulyono Al Basyir dan Ibunda Ninik Mardinah, serta seluruh anggota keluarga yang telah banyak memberikan perhatian, dukungan, semangat doa kepada penulis.
2. Bapak Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D dan Ibu Ir. Ni Ketut Aryani, MT selaku dosen pembimbing 1 dan II yang telah memberi banyak ilmu dan arahan, semoga bapak dan ibu sehat selalu dan diberi keberkahan ilmu.
3. Seluruh dosen Jurusan Teknik Elektro – ITS, yang telah banyak memberikan ilmu serta motivasi dalam memahami setiap ilmu yang dipelajari
4. Seluruh teman-teman LJ angkatan ganjil 2014 terutama rekan seperjuangan PSSSL termasuk Tim GIS (mas Rochman, mas Wildan, mas Ahmad Anugrah, Indrawan Gunartono, Febri, dan Mbak Indri selaku senior GIS) dan teman-teman KOSKETIS yang telah banyak memberikan masukan, bantuan dan motivasi, sukses selalu untuk kita semua.

Dalam menyusun Tugas Akhir ini, penulis berharap semoga nantinya Tugas Akhir ini bermanfaat jikapun ada kekurangan, saran serta kritik penulis harapkan, terima kasih.

Surabaya, 19 Januari 2017

Thoriq Aziz Al Qoyyimi

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b>	
<b>PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR</b>	
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b>	
<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi
 <b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	 1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan .....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah .....	2
1.5 Metodologi.....	2
1.6 Sistematika Penulisan .....	3
1.7 Relevansi dan Manfaat .....	4
 <b>BAB II TEORI PENUNJANG</b> .....	 5
2.1 Sistem Tenaga Listrik.....	5
2.2 Proses Penyaluran Tenaga Listrik ke Pelanggan .....	5
2.3 Bentuk Jaringan Distribusi Primer dan Sekunder .....	7
2.4 Macam-macam Saluran .....	11
2.4.1 Saluran Udara .....	12
2.4.2 Saluran Bawah Tanah .....	13
2.5 Gangguan pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik .....	13
2.5.1 Jenis Gangguan .....	14
2.5.2 Penyebab Gangguan pada Sistem Jaringan Distribusi .....	14
2.5.3 Akibat Gangguan pada Sistem Jaringan Distribusi.....	15
2.6 Gangguan Hubung Singkat pada Jaringan Distribusi .....	15
2.6.1 Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah .....	15
2.6.2 Gangguan Hubung Singkat Fasa ke Fasa .....	18
2.6.3 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah .....	19

2.6.4 Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa .....	20
2.7 Geographic Information System (GIS) .....	21
2.7.1 Data Input dan Data Output .....	21
2.7.2 Data <i>Management</i> .....	22
2.7.3 Data <i>Manipulation dan Analysis</i> .....	22
2.7.4 Sejarah dan Perkembangan GIS .....	22
2.7.5 GIS dalam Sistem Distribusi Tenaga Listrik .....	22
<b>BAB III PERMODELAN SISTEM</b> .....	23
3.1 Langkah Permodelan Sistem .....	23
3.2 Pembentukan K-Matriks .....	26
3.3 Pembentukan Matriks $Z_{BR}$ .....	27
3.4 Hubung Singkat dengan Metode Algoritma <i>Direct Building</i> .....	30
3.4.1 Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah .....	30
3.4.2 Hubung Singkat Fasa ke Fasa .....	30
3.4.3 Hubung Singkat Tiga Fasa .....	31
3.5 Algoritma Penentuan Lokasi Gangguan.....	32
3.6 <i>Geographic Information Sistem</i> (GIS) .....	35
3.7 Sistem Kelistrikan Penyulang Tegalsari di GIS .....	36
<b>BAB IV SIMULASI DAN ANALISIS</b> .....	41
4.1 Simulasi Gangguan pada Jaringan Distribusi .....	41
4.2 Perhitungan Estimasi Lokasi Jarak Gangguan .....	46
4.3 Perhitungan Estimasi Lokasi Jarak Gangguan pada Kasus1..	46
4.4 Perhitungan Estimasi Lokasi Jarak Gangguan pada Kasus2..	50
4.5 Perhitungan Estimasi Lokasi Jarak Gangguan pada Kasus3..	52
4.6 Tampilan Hasil Simulasi di <i>Geographical Information System (GIS)</i> .....	54
<b>BAB V PENUTUP</b> .....	61
5.1 Kesimpulan .....	61
5.2 Saran.....	61
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	63
<b>BIODATA PENULIS</b> .....	65

# TABLE OF CONTENTS

	PAGE
<b>TITTLE</b>	
<b>STATEMENT OF AUTHENTICITY</b>	
<b>VALIDITY SHEET</b>	
<b>ABSTRACT</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>FOREWORD</b> .....	v
<b>TABLE OF CONTENTS</b> .....	vii
<b>LIST OF FIGURES</b> .....	ix
<b>LIST OF TABLES</b> .....	xi
 <b>CHAPTER I PRELIMINARY</b> .....	 1
1.1 Background.....	1
1.2 Problems .....	2
1.3 Objectives .....	2
1.4 Problems Limitation .....	2
1.5 Methodology.....	2
1.6 Systematics .....	3
1.7 Relevance .....	4
 <b>CHAPTER II SUPPORTING THEORY</b> .....	 5
2.1 Electrical Power System.....	5
2.2 The Electrical Power Supply to Customers .....	5
2.3 Primary and Secondary Distribution Networks .....	7
2.4 Types of Distribution Networks .....	11
2.4.1 Overhead Power Distrbution Channel .....	12
2.4.2 Underground Power Distribution Channel .....	13
2.5 Disturbances In The Power Distribution System .....	13
2.5.1 Types of Disturbance.....	14
2.5.2 Cause Distrubances in The Distribution System.....	14
2.5.3 Due to Disturbances in The Distribution System.....	15
2.6 Short-circuit in The Distribution Network.....	15
2.6.1 Short-circuit One Phase to Ground .....	15
2.6.2 Short-circuit Phase to Phase .....	18
2.6.3 Short-circuit Two Phase to Ground .....	19

2.6.4 Short-circuit Three Phase .....	20
2.7 Geographic Information System (GIS) .....	21
2.7.1 Data Input and Output Data.....	21
2.7.2 Data <i>Management</i> .....	22
2.7.3 Data <i>Manipulation and Analysis</i> .....	22
2.7.4 History and Development of GIS .....	22
2.7.5 GIS In Electricity Distribution System .....	22
<b>CHAPTER III SYSTEM MODELING .....</b>	<b>23</b>
3.1 Step of System model.....	23
3.2 Matrix Formation of K-Matrix .....	26
3.3 Matrix Formation of Z <sub>BR</sub> .....	27
3.4 Short-circuit with Direct Building Algorithm Method.....	30
3.4.1 Short-circuit One Phase to Ground .....	30
3.4.2 Short-circuit Phase to Phase .....	30
3.4.3 Short-circuit Three Phase .....	31
3.5 Determination of Fault Location Algorithm.....	32
3.6 <i>Geographic Information Sistem</i> (GIS) .....	35
3.7 Electrical Systems Tegalsari Feeders on GIS.....	36
<b>CHAPTER IV SIMULATION AND ANALYSIS.....</b>	<b>41</b>
4.1 Disturbance Simulation In Sistribution Network .....	41
4.2 Calculation of Estimated Locations Fault Distance.....	46
4.3 Calculation of Estimated Location Fault Distance in Case 1 .....	46
4.4 Calculation of Estimated Location Fault Distance in Case2..	50
4.5 Calculation of Estimated Location Fault Distance in Case3..	52
4.6 The Simulation Results Dispaly in <i>Geographical Information System (GIS)</i> .....	54
<b>CHAPTER V CLOSING .....</b>	<b>61</b>
5.1 Conclusion .....	61
5.2 Suggestion .....	61
<b>BIBLIOGRAPHY .....</b>	<b>63</b>
<b>BIODATA AUTHOR .....</b>	<b>65</b>

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 2.1</b>	Proses penyaluran tenaga listrik sampai pelanggan... 6
<b>Gambar 2.2</b>	Jaringan distribusi radial ..... 7
<b>Gambar 2.3</b>	Jaringan hantaran penghubung ( <i>tie line</i> ) ..... 8
<b>Gambar 2.4</b>	Jaringan distribusi lingkaran ( <i>Loop</i> ) ..... 9
<b>Gambar 2.5</b>	Jaringan distribusi spindel ..... 9
<b>Gambar 2.6</b>	Jaringan distribusi kluster ..... 10
<b>Gambar 2.7</b>	Skema sistem distribusi sekunder ..... 11
<b>Gambar 2.8</b>	Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah ..... 16
<b>Gambar 2.9</b>	Hubung singkat satu fasa pada bus 6 kV titik sekunder trafo..... 17
<b>Gambar 2.10</b>	Gangguan hubung singkat fasa ke fasa..... 18
<b>Gambar 2.11</b>	Gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah ..... 20
<b>Gambar 2.12</b>	Gangguan hubung singkat tiga fasa ..... 20
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram alur permodelan sistem ..... 24
<b>Gambar 3.2</b>	Diagram alur simulasi hubung singkat dengan menggunakan algoritma direct building dan estimasi gangguan ..... 25
<b>Gambar 3.3</b>	<i>Single line diagram</i> sederhana menggunakan k-matriks ..... 26
<b>Gambar 3.4</b>	<i>Single line diagram</i> contoh pembentukan matriks Zbr 27
<b>Gambar 3.5</b>	Rangkaian 3 fasa sederhana ..... 29
<b>Gambar 3.6</b>	Diagram pengganti jaringan distribusi ..... 32
<b>Gambar 3.7</b>	Metode lokasi gangguan berbasis impedansi ..... 32
<b>Gambar 3.8</b>	<i>Flowchart</i> alir proses estimasi lokasi gangguan ..... 35
<b>Gambar 3.9</b>	Tampilan awal <i>GIS smallworld</i> PLN Distribusi Jawa Timur ..... 36
<b>Gambar 3.10</b>	Tampilan <i>GIS smallworld</i> PLN Distribusi Jawa Timur pada Penyulang Tegalsari ..... 36
<b>Gambar 3.11</b>	<i>Single line diagram</i> Penyulang Tegalsari ..... 37
<b>Gambar 4.1</b>	Tampilan lokasi transformator pada GIS..... 55
<b>Gambar 4.2</b>	Tampilan awal <i>running</i> program simulasi ..... 55
<b>Gambar 4.3</b>	Estimasi lokasi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah ..... 56

<b>Gambar 4.4</b>	Estimasi lokasi gangguan satu fasa ke tanah dengan metode <i>direct building</i> dan impedansi .....	56
<b>Gambar 4.5</b>	Simulasi estimasi lokasi gangguan <i>line to line</i> .....	57
<b>Gambar 4.6</b>	Simulasi dan estimasi lokasi gangguan tiga fasa .....	58
<b>Gambar 4.7</b>	Rata-rata error dan selisih jarak estimasi lokasi .....	58



## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 3.1</b> Data panjang saluran udara Penyulang Tegalsari .....	38
<b>Tabel 3.2</b> Nomor gardu pada <i>GIS</i> Penyulang tegalsari .....	39
<b>Tabel 3.3</b> Data pembebanan tiap fasa Penyulang Tegalsari . ....	40
<b>Tabel 4.1</b> Data simulasi hubung singkat.....	41
<b>Tabel 4.2</b> Data impedansi dan arus gangguan hasil simulasi hubung singkat satu fasa ke tanah ( <i>line to ground</i> ).....	42
<b>Tabel 4.3</b> Data impedansi dan arus gangguan hasil simulasi hubung singkat fasa ke fasa ( <i>line to line</i> ).....	43
<b>Tabel 4.4</b> Data impedansi dan arus gangguan hasil simulasi hubung singkat 3 fasa ( <i>line to line to line</i> ).....	44
<b>Tabel 4.5</b> Hasil validasi algoritma <i>direct building</i> dengan ETAP 12.6.....	45
<b>Tabel 4.6</b> Hasil simulasi estimasi lokasi gangguan satu fasa ke tanah .....	48
<b>Tabel 4.7</b> Hasil simulasi estimasi lokasi menggunakan algoritma <i>direct building</i> dan metode impedansi .....	49
<b>Tabel 4.8</b> Hasil simulasi estimasi lokasi gangguan <i>line to line</i> .....	51
<b>Tabel 4.9</b> Hasil perhitungan estimasi lokasi gangguan 3 fasa .....	54

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Pengembangan dari teknologi informasi dan penyediaan data sebuah sistem telah berkembang dengan pesat seperti *Geographic Information System (GIS)*. *GIS* adalah sistem informasi geografis yang memuat database tentang tata ruang umum yang menggunakan sistem koordinat sebagai referensinya. *GIS* membutuhkan input data (dari maps, satellite, survey dan sumber data lainnya), penyimpanan data jaringan, analisa, permodelan dan report data [1].

Distribusi tenaga listrik mempunyai peran penting karena terhubung langsung dengan penggunaan energi listrik, terutama pemakai energi listrik tegangan menengah dan tegangan rendah. Pada sistem pendistribusian tenaga listrik biasanya sering terjadi gangguan (*fault*). Gangguan adalah penghalang dari suatu sistem yang sedang beroperasi atau suatu keadaan dari sistem penyaluran tenaga listrik yang menyimpang dari kondisi normal. Suatu gangguan di dalam peralatan listrik didefinisikan sebagai terjadinya suatu kerusakan di dalam jaringan listrik yang menyebabkan aliran arus listrik keluar dari saluran yang seharusnya. Keadaan tersebut jika dibiarkan secara terus-menerus akan menyebabkan terjadinya penurunan keandalan sistem tenaga listrik dan kualitas energi listrik yang disalurkan serta menyebabkan kerusakan alat-alat yang bersangkutan [2].

Menentukan lokasi gangguan merupakan hal yang penting dalam system distribusi energi listrik, sehingga gangguan dapat segera dihilangkan. Untuk itu lokasi gangguan sangat penting untuk dapat diketahui atau diperkirakan dengan akurasi yang cukup tinggi, sehingga dapat memungkinkan menghemat uang dan waktu untuk melakukan pemeriksaan dan perbaikan, serta untuk memberikan layanan yang lebih baik karena pemulihan listrik dapat dilakukan lebih cepat. Untuk gangguan sementara, gangguan dapat hilang dengan sendirinya dan tidak mempengaruhi secara permanen kontinuitas pasokan, namun dalam pencarian lokasi tersebut juga penting [3]. Penggabungan antara metode impedansi untuk estimasi lokasi gangguan pada sistem distribusi

dengan *GIS* diharapkan dapat membantu untuk memudahkan untuk mengetahui letak dari *section* yang terjadi gangguan.

## **1.2 Permasalahan**

Permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana merepresentasikan saluran distribusi pada *GIS*.
2. Bagaimana mendapatkan estimasi lokasi gangguan hubung singkat untuk setiap *section* pada sistem distribusi radial dengan menggunakan *GIS*.

## **1.3 Tujuan**

Tujuan yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini :

1. Menerapkan metode Impedansi dalam menentukan estimasi lokasi gangguan hubung singkat pada sistem distribusi dengan menggunakan *GIS*.

## **1.4 Batasan Masalah**

Dalam menyelesaikan permasalahan pada tugas akhir ini, terdapat batasan yang diperlukan, diantaranya :

1. Dalam penelitian tugas akhir ini, digunakan *software GIS Smallworld* PLN Area Distribusi Jawa Timur dan *Emacs 22.1* dengan bahasa pemrograman *Magik*.
2. Merepresentasikan saluran distribusi radial penyulang Tegalsari dengan menggunakan *GIS*.
3. Gangguan yang dianalisa telah ditentukan yaitu gangguan hubung singkat satu fasa, dua fasa, dan tiga fasa.
4. Analisa hubung singkat menggunakan *software ETAP 12.6* dan menggunakan metode algoritma *direct building* pada setiap bus.

## **1.5 Metodologi**

Alur metodologi penyelesaian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi pustaka

Studi pustaka dilakukan untuk mengumpulkan buku maupun jurnal yang berkaitan tentang topik tugas akhir yang dibahas, mencakup analisa gangguan hubung singkat jaringan distribusi dan bagaimana menggunakan metode impedansi untuk

- menentukan estimasi lokasi gangguan, *GIS*, dan bahasa pemrograman *Magik*.
2. Pengenalan *software* dan percobaan.  
Pengenalan *software* dilakukan dengan mempelajari *software* yang akan dikembangkan disertai melakukan percobaan untuk mengetahui bagaimana cara kerja *software* tersebut.
  3. Pengujian awal dan *troubleshooting* terhadap *bug* yang muncul  
Pengujian awal dilakukan untuk mencari *bug*/kesalahan dalam *software* dan lebih mengutamakan kelancaran penggunaan *software*, sehingga dapat diuji dengan data-data sederhana namun beragam.
  4. Pengujian akhir dan finalisasi *software*  
Pengujian akhir dilakukan untuk memantapkan kembali kinerja *software* yang digunakan dalam melakukan perhitungan, sehingga hasil akhir yang diuji akan mendapatkan data yang lebih kompleks dan mensimulasikan gangguan hubung singkat dengan menggunakan *software* ETAP 12.6 terlebih dahulu untuk mendapatkan data-data yang diperlukan.
  5. Pembuatan laporan tugas akhir  
Melakukan penulisan laporan yang menunjukkan hasil akhir dari Tugas Akhir.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika pembahasan dalam tugas akhir ini terdiri atas lima bab dengan uraian sebagai berikut :

1. BAB 1 : Pendahuluan  
Bab ini merupakan pendahuluan yang berisi latar belakang, permasalahan, tujuan, metodologi, batasan masalah dan sistematika penulisan.
2. BAB 2 : Dasar Sistem Tenaga Listrik  
Bab ini secara garis besar membahas tentang dasar sistem tenaga listrik khususnya jaringan distribusi radial, analisa gangguan hubung singkat dan *GIS* sebagai dasar dalam pengerjaan tugas akhir ini.
3. BAB 3: Metodologi Penelitian  
Bab ini membahas metodologi penelitian yang dilakukan, menampilkan data, metode algoritma *direct building* dan metode

Impedansi untuk menentukan estimasi lokasi gangguan hubung singkat.

4. BAB 4 : Simulasi dan Analisis

Bab ini membahas tentang hasil analisis perhitungan untuk menentukan estimasi lokasi dengan metode Impedansi, dan membandingkan hasil dengan jarak yang sebenarnya pada penyulang di GIS yang digunakan dalam Tugas Akhir.

5. BAB 5 : Penutup

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil analisis estimasi lokasi gangguan yang telah diperoleh melalui simulasi.

## **1.7 Relevansi dan Manfaat**

Hasil yang dapat diperoleh dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Bagi perusahaan listrik

Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi perusahaan listrik dalam monitoring gangguan hubung singkat pada sistem distribusi radial berdasarkan topologi daerah.

2. Bagi bidang ilmu pengetahuan dan mahasiswa lain

Tugas Akhir ini diharapkan dapat membantu perkembangan ilmu pengetahuan dengan menjadi alat bantu pengembangan software *GIS* yang handal dan mudah digunakan dapat menjadi referensi bagi mahasiswa lain yang akan mengambil Tugas Akhir yang mengambil masalah yang serupa.

## **BAB II**

### **TEORI PENUNJANG**

#### **2.1 Sistem Tenaga Listrik**

Sistem tenaga listrik secara umum terbagi menjadi 4 bagian yaitu pembangkit tenaga listrik, transmisi, saluran distribusi, dan pelanggan. Pada bagian pertama yakni pembangkit tenaga listrik, tegangan awal yang dibangkitkan adalah tegangan menengah (TM) yang berlanjut ke bagian kedua dimana tegangan akan ditingkatkan menjadi tegangan tinggi (TT) atau ekstra tinggi (TET) yang selanjutnya akan disalurkan melalui saluran transmisi ke bagian tiga yaitu saluran distribusi. Saluran distribusi dibagi menjadi dua yaitu saluran primer dengan tegangan menengah (TM) dan saluran sekunder dengan tegangan rendah (TR). Bagian keempat yakni pelanggan, umumnya pelanggan akan menggunakan tegangan pada saluran distribusi. Pelanggan yang menggunakan beban rendah atau kelistrikan rumah tangga akan menggunakan tegangan rendah, dan untuk tegangan menengah biasanya digunakan oleh industri atau pabrik.

#### **2.2 Proses Penyaluran Tenaga Listrik ke Pelanggan [1]**

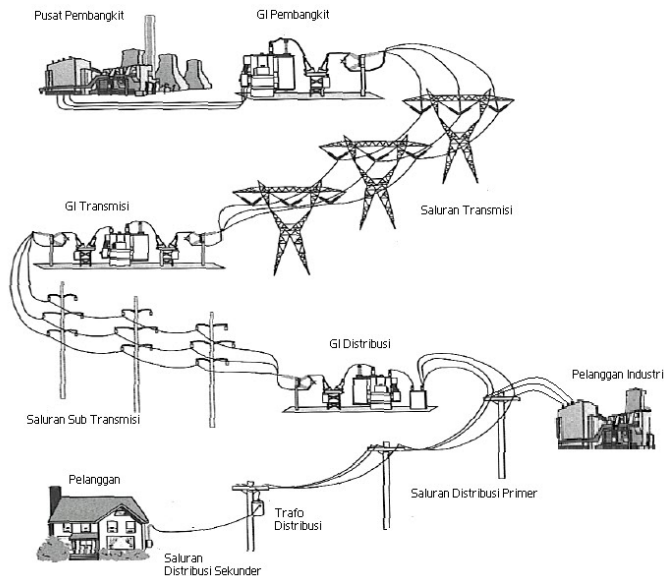
Dalam sistem tenaga listrik, pelayanan kebutuhan energi listrik terdiri dari tiga bagian utama, yaitu:

1. Pembangkit
2. Sistem Transmisi
3. Sistem Distribusi

Tenaga listrik dibangkitkan dalam pusat-pusat listrik seperti: Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD), Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG), Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) dan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN). Tegangan yang dibangkitkan awalnya berupa tegangan menengah yang kemudian dinaikkan dengan trafo penaik tegangan (*step-up transformer*) yang selanjutnya tegangan akan melewati saluran transmisi. PLN kebanyakan menggunakan tegangan 66 kV, 150 kV, dan 500 kV.

Sebelum melalui saluran distribusi, tegangan dari saluran transmisi yaitu tegangan tinggi atau ekstra tinggi akan diturunkan kembali menjadi tegangan menengah melalui gardu induk menggunakan trafo penurun tegangan (*step down transformer*). Umumnya tegangan menengah yang digunakan oleh PLN adalah 20 kV, 12 kV, dan 6 kV.

Setelah tenaga listrik disalurkan jaringan distribusi primer maka kemudian tenaga listrik diturunkan tegangannya dalam gardu-gardu distribusi menjadi tegangan rendah dengan tegangan 380/220 volt, kemudian disalurkan melalui jaringan tegangan rendah untuk selanjutnya disalurkan ke rumah-rumah pelanggan (konsumen). Jaringan ini juga disebut dengan Jaringan Distribusi Sekunder. Pada gambar 2.1 merupakan proses penyaluran tenaga listrik dari pembangkit sampai ke pelanggan.



**Gambar 2.1** Proses penyaluran tenaga listrik sampai pelanggan

Sistem distribusi pada gambar 2.1 di atas dapat diklasifikasikan menjadi dua bagian yaitu sistem distribusi primer (tegangan menengah) dan sistem distribusi sekunder (tegangan rendah). Saluran distribusi yang dipakai dapat berupa saluran udara dan saluran bawah tanah. Karena saluran kabel udara jauh lebih murah dibandingkan saluran kabel bawah tanah maka saluran distribusi PLN kebanyakan memakai saluran kabel udara. Kerugian yang sering terjadi pada saluran kabel udara adalah bahwa saluran ini rentan atau mudah terganggu misalnya terkena petir,



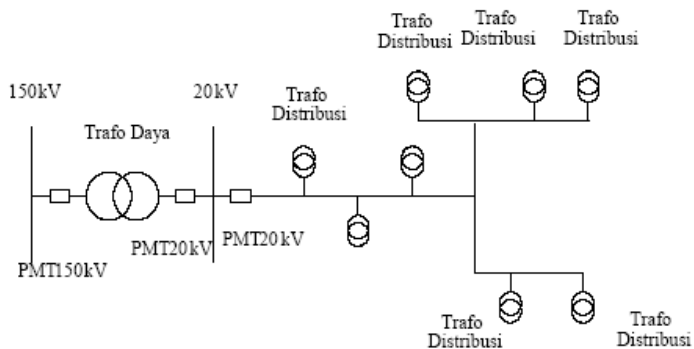
layang-layang, terkena ranting pohon dan lain-lain, sehingga menyebabkan terjadinya gangguan.

### 2.3 Bentuk Jaringan Distribusi Primer dan Sekunder

Jaringan pada sistem distribusi tegangan menengah (Primer, 20 kV) dapat dikelompokkan menjadi lima model, yaitu Jaringan Radial, Jaringan hantaran penghubung (*Tie Line*), Jaringan Lingkaran (*Loop*), Jaringan Spindel, dan Sistem Gugus atau Kluster.

#### 1. Jaringan Radial

Sistem distribusi dengan pola Radial seperti Gambar 2.2 di bawah, adalah sistem distribusi yang paling sederhana dan ekonomis. Pada sistem ini terdapat beberapa penyulang yang menyuplai beberapa gardu distribusi secara radial.



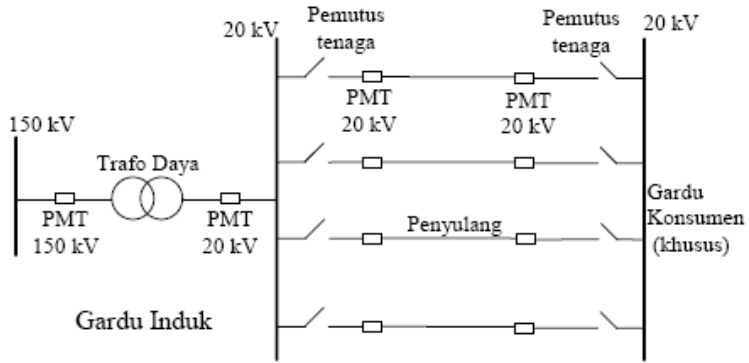
**Gambar 2.2** Jaringan distribusi radial

Dalam penyulang tersebut dipasang gardu-gardu distribusi untuk konsumen. Gardu distribusi adalah tempat dimana trafo untuk konsumen dipasang. Bisa dalam bangunan beton atau diletakan diatas tiang. Keuntungan dari sistem ini adalah sistem ini tidak rumit dan lebih murah dibanding dengan sistem yang lain. Namun keandalan sistem ini lebih rendah dibanding dengan sistem lainnya. Kurangnya keandalan disebabkan karena hanya terdapat satu jalur utama yang menyuplai gardu distribusi,

sehingga apabila jalur utama tersebut mengalami gangguan, maka seluruh gardu akan ikut padam.

## 2. Jaringan Hantaran Penghubung (*Tie Line*)

Sistem distribusi *Tie Line* seperti Gambar 2.3 digunakan untuk pelanggan penting yang tidak boleh padam (Bandar Udara, Rumah Sakit, dan lain-lain).

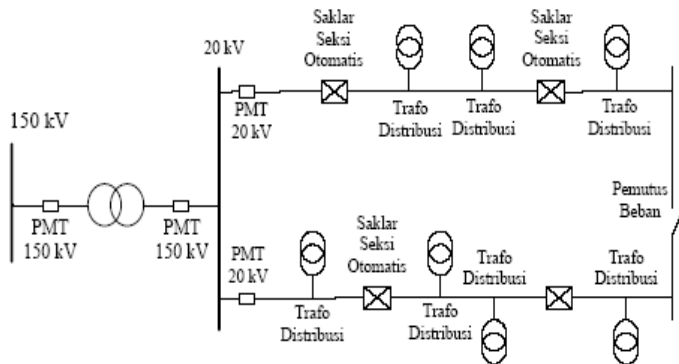


**Gambar 2.3** Jaringan hantaran penghubung (*tie line*)

Sistem ini memiliki minimal dua penyulang sekaligus dengan tambahan *Automatic Change Over Switch* / *Automatic Transfer Switch*, setiap penyulang terkoneksi ke gardu pelanggan khusus, apabila salah satu penyulang mengalami gangguan, maka pasokan listrik akan di pindah ke penyulang lain, sehingga konsumen tidak mengalami pemadaman listrik terlalu lama atau tidak mengalami pemadaman sama sekali.

## 3. Jaringan Lingkaran (*Loop*)

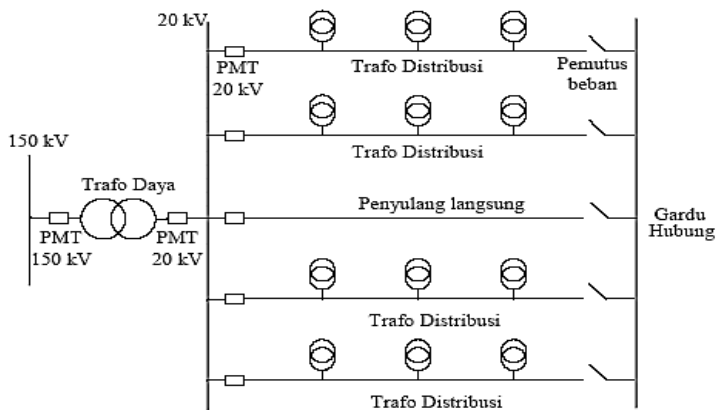
Pada Jaringan Tegangan Menengah Struktur Lingkaran (*Loop*) seperti Gambar 2.4 dimungkinkan pemasokannya dari beberapa gardu induk, sehingga dengan demikian tingkat keandalannya relatif lebih baik.



**Gambar 2.4** Jaringan distribusi lingkaran (*loop*)

#### 4. Jaringan Spindel

Sistem Spindel seperti pada Gambar 2.5 adalah suatu pola kombinasi jaringan dari pola Radial dan Ring. Spindel terdiri dari beberapa penyulang (*feeder*) yang tegangannya diberikan dari Gardu Induk dan tegangan tersebut berakhir pada sebuah Gardu Hubung (GH).



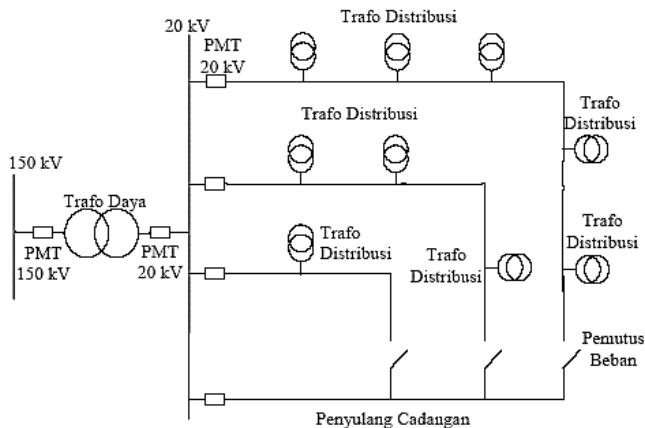
**Gambar 2.5** Jaringan distribusi spindel

Pada sebuah jaringan spindel biasanya terdiri dari beberapa penyulang aktif dan sebuah penyulang cadangan (*express*) yang akan dihubungkan melalui gardu hubung. Pola Spindel biasanya digunakan pada jaringan tegangan menengah (JTM) yang menggunakan kabel tanah/saluran kabel tanah tegangan menengah (SKTM).

Namun pada pengoperasiannya, sistem Spindel berfungsi sebagai sistem Radial. Di dalam sebuah penyulang aktif terdiri dari gardu distribusi yang berfungsi untuk mendistribusikan tegangan kepada konsumen baik konsumen tegangan rendah (TR) atau tegangan menengah (TM).

##### 5. Jaringan Sistem Gugus atau Kluster

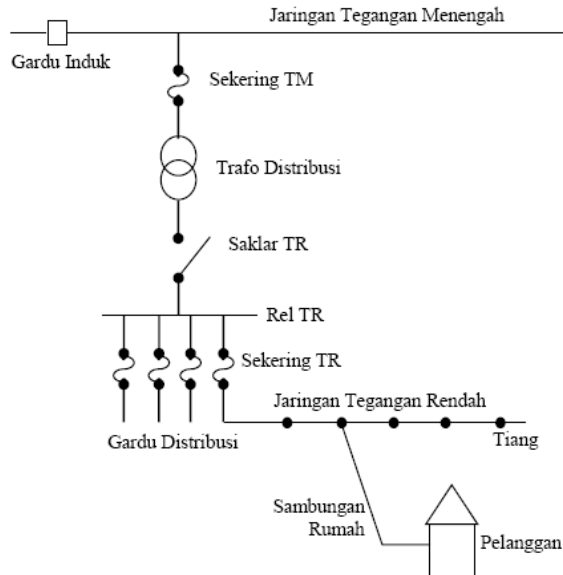
Konfigurasi Gugus seperti pada Gambar 2.6 banyak digunakan untuk kota besar yang mempunyai kepadatan beban yang tinggi. Dalam sistem ini terdapat Saklar Pemutus Beban, dan penyulang cadangan.



**Gambar 2.6** Jaringan distribusi kluster

Dimana penyulang ini berfungsi bila ada gangguan yang terjadi pada salah satu penyulang konsumen maka penyulang cadangan inilah yang menggantikan fungsi suplai kekonsumen.

Sistem distribusi sekunder pada Gambar 2.7 di bawah, merupakan skema sistem distribusi, yaitu mulai dari gardu trafo sampai pada pemakai akhir atau konsumen.



**Gambar 2.7** Skema sistem distribusi sekunder

Melihat letaknya, sistem distribusi ini merupakan bagian yang langsung berhubungan dengan konsumen, selain berfungsi menerima daya listrik dari sumber daya (trafo distribusi), juga akan mengirimkan serta mendistribusikan daya tersebut ke konsumen. Mengingat bagian ini berhubungan langsung dengan konsumen, maka kualitas listrik selayaknya harus sangat diperhatikan.

## 2.4 Macam-Macam Saluran

Saluran pada sistem kelistrikan umumnya terbagi menjadi dua yaitu saluran udara dan saluran bawah tanah. Pemilihan jenis saluran pada suatu sistem bergantung pada beberapa faktor, antara lain kepentingan tingkat kontinuitas pelayanan, biaya, estetika, dan sebagainya.

### **2.4.1 Saluran Udara**

Saluran udara digunakan pada pemasangan di luar bangunan, diregangkan pada isolator-isolator di antara tiang-tiang, dimana fasa satu dengan fasa lainnya diberi jarak yang sama sampai sepanjang beban yang dilalui suplai tenaga listrik, mulai dari gardu induk sampai ke beban ujung akhir.

Saluran udara direncanakan untuk kawasan dengan kepadatan beban rendah atau sangat rendah, misalnya pinggiran kota, desa atau kota-kota kecil, dan tempat-tempat yang jauh serta luas dengan beban tersebar. Ditinjau dari sisi ekonomisnya saluran udara seringkali digunakan untuk melayani daerah yang sedang berkembang sebagai tahapan sementara. Dan contoh riilnya kota-kota besar dengan mayoritas perumahan kebanyakan menggunakan saluran udara.

Bahan yang digunakan untuk kawat penghantar saluran udara adalah tembaga dan aluminium. Secara teknis, tembaga memiliki daya hantar arus yang lebih tinggi dibandingkan dengan aluminium. Namun dikarenakan ada selisih harga antara kawat tembaga dengan kawat aluminium, maka penggunaan kawat berbahan aluminium menjadi lebih populer. Berikut adalah beberapa kelebihan dari saluran udara :

- a. Investasi atau biaya yang diperlukan untuk membangun saluran udara jauh lebih rendah dibandingkan dengan saluran bawah tanah.
- b. Kawat untuk daerah-daerah yang lahannya berbatu, lebih mudah untuk menggunakan saluran udara dibandingkan saluran bawah tanah.
- c. Untuk penggunaan tegangan extra tinggi, jarak antar fasa dapat diperpanjang.
- d. Pemeliharaan dan proses penemuan lokasi gangguan jauh lebih mudah.

Berikut adalah beberapa kerugian dari saluran udara :

- a. Memiliki frekuensi gangguan yang lebih tinggi karena mudah terganggu oleh kondisi cuaca dan lingkungan sekitar. Memiliki tingkat estetika yang lebih rendah karena dapat mengganggu pemandangan.

- b. Khusus untuk tegangan tinggi, medan elektromagnetik yang dipancarkan sering dianggap berbahaya untuk keselamatan manusia.

#### **2.4.2 Saluran Bawah Tanah**

Sistem penyaluran listrik untuk saluran bawah tanah dilakukan dengan menempatkan atau menanam kabel saluran di bawah tanah. Kabel yang digunakan untuk saluran bawah tanah biasanya berbahan tembaga atau aluminium, sedangkan bahan isolasi yang digunakan pada umumnya berupa kertas, serta perlindungan mekanikal yang berupa timah hitam. Untuk tegangan menengah, penggunaan minyak sebagai bahan isolasi juga dapat dilakukan. Jenis kabel yang sering digunakan untuk saluran bawah tanah adalah GPLK (*Gewapend Papier Lood Kabel*) atau NKBA (*Normalkabel mit Bleimantel Ausenumheullung*), kabel-kabel ini adalah kabel dengan bahan isolasi XLPE (*Cross-Linked Polyethylene*).

Jaringan bawah tanah biasanya digunakan untuk kawasan dengan padat beban yang tinggi, misalnya kota-kota besar. Selain itu penggunaan kabel tanah juga dilakukan untuk daerah-daerah yang membutuhkan tingkat estetika yang lebih baik. Penanaman kabel tanah dapat dilakukan secara langsung ataupun dengan menggunakan pipa pelindung. Berikut adalah beberapa kelebihan dan kekurangan dari saluran bawah tanah :

- a. Kabel tanah tidak terlihat, sehingga tidak mengganggu pemandangan lingkungan sekitar. Pengoperasian dari saluran bawah tanah jauh lebih mudah karena tidak terpengaruh oleh hujan, petir, dan angin.
- b. Beberapa kerugian dari saluran bawah tanah Harga instalasi awal jauh lebih tinggi. Pemeliharaan dan proses untuk menemukan gangguan lebih sulit dibandingkan saluran udara.

#### **2.5 Gangguan pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik [2]**

Dalam operasi sistem tenaga listrik sering terjadi gangguan yang dapat mengakibatkan terganggunya penyaluran tenaga listrik ke konsumen. Gangguan adalah suatu keadaan dari sistem penyaluran tenaga listrik yang menyimpang dari keadaan normal. Berdasarkan ANSI/IEEE Std 100-1992 gangguan didefinisikan sebagai suatu kondisi fisis yang disebabkan kegagalan suatu perangkat, komponen atau suatu elemen untuk bekerja sesuai dengan fungsinya. Hubung singkat ialah

suatu hubungan abnormal (termasuk busur api) pada impedansi yang relatif rendah terjadi secara kebetulan atau disengaja antara dua titik yang mempunyai potensial yang berbeda [2].

### **2.5.1 Jenis Gangguan**

Pada dasarnya gangguan yang sering terjadi pada sistem distribusi saluran 20 kV menjadi dua macam yaitu gangguan dari dalam sistem dan gangguan dari luar sistem. Gangguan yang berasal dari dalam sistem dapat berupa kegagalan dari fungsi peralatan jaringan, kerusakan dari peralatan jaringan dan kerusakan dari peralatan pemutus beban. Gangguan yang berasal dari luar sistem dapat disebabkan oleh sentuhan pohon atau ranting pada penghantar, sambaran petir, manusia, binatang, cuaca dan lain-lain. Jenis gangguan yang terjadi pada jaringan distribusi dapat dibagi menjadi 2, yaitu

a. Dari lama gangguan :

1. Gangguan permanen atau (*stationary*)

Merupakan gangguan yang dapat disebabkan oleh kerusakan peralatan dan tidak hilang atau tetap ada apabila pemutus tenaga telah terbuka. Untuk menghilangkan gangguan permanen diperlukan tindakan perbaikan pada titik penyebab gangguan tersebut.

2. Gangguan sementara atau (*temporary*)

merupakan gangguan yang tidak akan lama dan dapat normal kembali baik secara otomatis maupun secara manual dengan penutupan kembali peralatan hubungannya. Apabila gangguan temporer sering terjadi maka hal ini akan menimbulkan kerusakan pada peralatan dan akhirnya menimbulkan gangguan yang bersifat permanen.

b. Dari jenis gangguan :

1. Gangguan satu fasa ke tanah

2. Gangguan dua fasa ke tanah

3. Gangguan fasa ke fasa

4. Gangguan tiga fasa ke tanah

### **2.5.2 Penyebab Gangguan pada Sistem Jaringan Distribusi**

Gangguan biasanya diakibatkan oleh kegagalan isolasi di antara kawat penghantar fasa atau antara penghantar fasa dengan tanah, sehingga kawat penghantar menyentuh kawat penghantar lain atau kawat penghantar menyentuh tanah. Penyebab terjadinya gangguan pada



jaringan distribusi disebabkan karena tegangan lebih, kesalahan mekanis, material yang rusak atau cacat, konduktor putus, kesalahan manusia dan gangguan hubung singkat.

### **2.5.3 Akibat Gangguan pada Sistem Jaringan Distribusi**

Akibat yang paling serius dari gangguan adalah kebakaran yang tidak hanya merusak peralatan, melainkan bisa berkembang ke sistem dan akan mengakibatkan kegagalan total dari sistem tersebut. Berikut merupakan contoh dari akibat yang disebabkan oleh gangguan pada sistem jaringan distribusi.

- a. Arus hubung singkat yang besar menyebabkan pemanasan. Bahaya kerusakan pada peralatan akibat panas berlebih (*overheating*), dapat menimbulkan kebakaran atau ledakan. Penurunan tegangan yang terlalu rendah dapat mengakibatkan kegagalan operasi peralatan sistem tenaga listrik dan penurunan umur peralatan listrik, aliran daya tertahan, sehingga dapat merugikan pelanggan.
- b. Terganggunya stabilitas sistem dan dapat menimbulkan pemadaman menyeluruh pada sistem tenaga listrik, yang dapat menyebabkan menurunnya keandalan sistem distribusi.

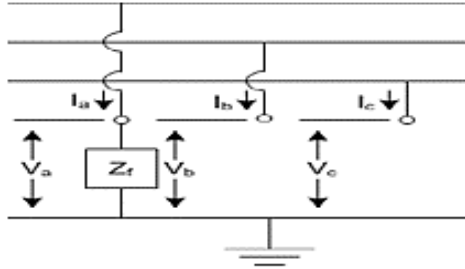
## **2.6 Gangguan Hubung Singkat pada Jaringan Distribusi.**

Gangguan hubung singkat adalah gangguan yang terjadi karena adanya kesalahan antara bagian-bagian yang bertegangan. Gangguan hubung singkat juga dapat terjadi akibat adanya isolasi yang tembus atau rusak karena tidak tahan terhadap tegangan lebih, baik yang berasal dari dalam maupun berasal dari luar atau karena sambaran petir. Gangguan hubung singkat merupakan suatu kondisi dimana penghantar yang berarus terhubung dengan penghantar lain atau dengan tanah. Gangguan ini dapat menyebabkan terjadinya arus yang sangat besar, sehingga dapat merusak peralatan listrik yang ada di sekitar titik gangguan. [2].

### **2.6.1 Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah**

Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah (SLG) merupakan hubung singkat yang terjadi karena hubung penghantar fasa dan tanah saling bersentuhan. Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah termasuk gangguan hubung singkat tak simetri (asimetri). Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah merupakan gangguan yang sering terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik, prosentase dari gangguan ini sekitar 70%

dari gangguan hubung singkat yang lain. Seperti pada gambar 2.8. Gangguan ini bersifat temporer, tidak ada kerusakan permanen di titik gangguan.



**Gambar 2.8** Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah

Kondisi terminalnya, untuk persamaan arus yang digunakan diperoleh dari komponen simetris arus sebagai berikut:

$$I_b = 0 ; I_c = 0 ; V_a = I_a \cdot Z_f \quad (2.1)$$

$$Ia_0 = \frac{1}{3} (I_a + I_b + I_c) = \frac{1}{3} I_a$$

$$Ia_1 = \frac{1}{3} (I_a + a I_b + a^2 I_c) = \frac{1}{3} I_a$$

$$Ia_2 = \frac{1}{3} (I_a + a^2 I_b + a I_c) = \frac{1}{3} I_a$$

$$Ia_0 = Ia_1 = Ia_2 = \frac{1}{3} I_a \quad (2.12)$$

Persamaan 2.12 di atas menunjukkan bahwa masing-masing arus urutan sama.

$$Va_0 = -Ia_0 \cdot Z_0$$

$$Va_1 = V_f - Ia_0 \cdot Z_1$$

$$Va_2 = -Ia_2 \cdot Z_2$$

$$V_a = Va_1 + Va_2 = Va_0 \quad (2.13)$$

Dari persamaan 2.12 dan persamaan 2.13 di atas didapatkan persamaan 2.14 sebagai berikut:

$$V_a = Va_1 + Va_2 = Va_0 = (Ia_1 + Ia_2 + Ia_0)Z_f = 3 \cdot Ia_1 \cdot Z_f \quad (2.14)$$

$$V_a = V_f - (Ia_1 \cdot Z_1) - (Ia_2 \cdot Z_2) - (Ia_0 \cdot Z_0)$$

$$V_a = V_f - Ia_1 (Z_1 + Z_2 + Z_0)$$

Dari persamaan 2.14 di atas, sehingga diperoleh persamaan 2.15, 2.16, 2.17 sebagai berikut:

$$V_f - Ia_1(Z_1 + Z_2 + Z_0) = 3.Ia_1.Z_f \quad (2.15)$$

$$V_f = Ia_1(Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3.Z_f)$$

$$Ia_1 = \frac{1}{3}I_a = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \quad (2.16)$$

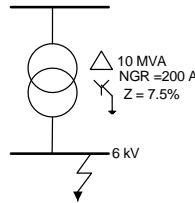
$$Ia_1 = I_f = \frac{3 V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3 Z_f} \quad (2.17)$$

Jika  $3 Z_f$  pada persamaan 2.17 di atas diabaikan maka di dapatkan persamaan 2.18 sebagai berikut.

$$I_f = \frac{3 V_{L-N}}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \quad (2.18)$$

Dimana  $V_{L-N}$  adalah tegangan di titik gangguan sesaat sebelum terjadinya gangguan.  $Z_1$  adalah impedansi urutan nol dilihat dari titik gangguan,  $Z_2$  adalah impedansi urutan negatif dilihat dari titik gangguan dan  $Z_0$  adalah impedansi urutan nol dilihat dari titik gangguan.

Berikut merupakan contoh soal dari gangguan satu fasa dimana terdapat sebuah trafo dengan spesifikasi yang telah tertera dan terjadi gangguan pada bus 6 kV seperti pada gambar 2.9 di bawah ini.



**Gambar 2.9** Hubung singkat satu fasa pada bus 6 kV titik sekunder trafo

Jawaban dari contoh soal pada gambar 2.9 di atas sebagai berikut.

$$Z_1 = \frac{kV^2}{MVA}. Z = \frac{6^2}{10} \times 7.5\% = 0.27\Omega$$

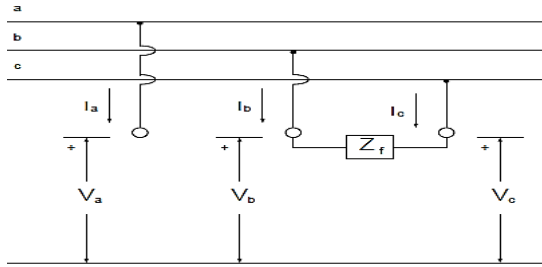
$$I_{sc} 1\phi = \frac{3 V_{L-N}}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_f}$$

$$Z_f = \frac{V_{L-N}}{NGR} = \frac{6/\sqrt{3}(kV)}{0.2(kA)} = 17.3\Omega$$

$$I_{sc\ 1\phi} = \frac{3 \times \left( \frac{6000}{\sqrt{3}} \right)}{0.27 + 0.27 + 0.27 + 3 \cdot (17.3)} = 197.16\ A$$

### 2.6.2 Gangguan Hubung Singkat Fasa ke Fasa.

Gangguan hubung singkat fasa ke fasa (*line to line*) merupakan gangguan hubung singkat yang terjadi karena bersentuhannya antara penghantar fasa yang satu dengan penghantar fasa yang lainnya, sehingga terjadi arus lebih (*over current*). Gangguan hubung singkat fasa ke fasa termasuk gangguan hubung singkat tak simetri (asimetri). Dapat dilihat pada gambar 2.10. Gangguan *line to line* dapat diakibatkan bersentuhannya penghantar fasa karena terkena ranting pohon yang tertiuip oleh angin. Prosentase terjadi gangguan hubung singkat *line to line* adalah 15%.



**Gambar 2.10** Gangguan hubung singkat fasa ke fasa

Dari komponen-komponen simetris didapatkan persamaan 2.19, 2.20, 2.21 sebagai berikut:

$$I_{a_0} = \frac{1}{3} (I_a + I_b + I_c)$$

$$I_{a_0} = \frac{1}{3} (0 + -I_b + I_c) = 0 \quad (2.19)$$

$$I_{a_1} = \frac{1}{3} (I_a + a I_b + a^2 I_c)$$

$$I_{a_1} = \frac{1}{3} (0 + a I_b - a^2 I_b) = \frac{1}{3} (a - a^2) \cdot I_b \quad (2.20)$$

$$I_{a_2} = \frac{1}{3} (I_a + a^2 I_b + a I_c)$$

$$I_{a_2} = \frac{1}{3} (0 + a^2 I_b - a I_b) = \frac{1}{3} (a^2 - a) \cdot I_b \quad (2.21)$$

Dari ke tiga persamaan di atas didapatkan persamaan persamaan 2.22 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Ia_1 &= -Ia_2 \\ V_b - V_c &= Z_f \cdot I_b \\ V_b - V_c &= (a^2 - a)(Va_1 - Va_2) \\ (a^2 - a)[V_f - (Z_1 + Z_2)Ia_1] &= Z_f \cdot I_b \end{aligned} \quad (2.22)$$

Dengan mensubstitusikan  $I_b$  ke persamaan 2.22, maka didapatkan  $(a - a^2)(a^2 - a) = 3$ , sehingga diperoleh persamaan 2.23 sebagai berikut:

$$V_f - (Z_1 + Z_2)Ia_1 = \frac{3Ia_1}{(a - a^2)(a^2 - a)} \quad (2.23)$$

Jika nilai  $Z_f$  adalah  $(a - a^2)(a^2 - a)$  maka diperoleh persamaan 2.24 dan 2.25 sebagai berikut.

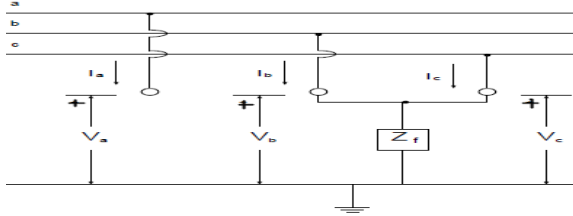
$$Ia_1 = \frac{V_f}{Z_1 + Z_1 + Z_f} \quad (2.24)$$

$$If_{L-L} = \frac{V_{L-N} \times \sqrt{3}}{Z_1 + Z_2} \quad (2.25)$$

Dimana  $V_{L-N}$  adalah tegangan di titik gangguan sesaat sebelum terjadinya gangguan.  $Z_1$  adalah impedansi urutan nol dilihat dari titik gangguan,  $Z_2$  adalah impedansi urutan negatif dilihat dari titik gangguan.

### 2.6.3 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah.

Gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah (*line to line to ground*) merupakan gangguan hubung singkat yang terjadi bila dua fasa salurannya atau dua fasa penghantar terhubung ke tanah, gangguan ini termasuk gangguan hubung singkat tak simetri (asimetri). Prosentase terjadi gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah adalah 10%. Gangguan Hubung singkat *line to line to ground* (LLG) dilihat pada gambar 2.11 di bawah ini.



**Gambar 2.11** Gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah

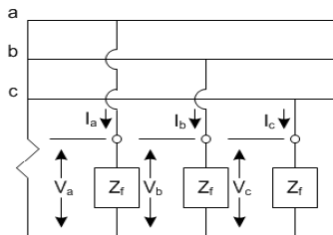
Besarnya arus hubung singkat dua fasa ketanah dapat dihitung menggunakan persamaan 2.26 di bawah ini:

$$I_{a1} = \frac{V_f}{\frac{Z_1 + Z_2 Z_0}{(Z_2 + Z_0)}} \quad (2.26)$$

Dimana  $V_f$  adalah tegangan di titik gangguan sesaat sebelum terjadinya gangguan.  $Z_1$  adalah impedansi urutan nol dilihat dari titik gangguan,  $Z_2$  adalah impedansi urutan negatif dilihat dari titik gangguan dan  $Z_0$  adalah impedansi urutan nol dilihat dari titik gangguan.

#### 2.6.4 Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

Gangguan hubung singkat tiga fasa (LLL) merupakan gangguan hubung singkat yang terjadi karena bersentuhannya ketiga penghantar fasa, gangguan ini dapat diakibatkan oleh tumbangnya pohon yang kemudian menimpa kabel jaringan, sehingga memutus kabel fasa secara bersamaan. Gangguan ini termasuk gangguan hubung singkat simetri. Prosentase untuk terjadi gangguan hubung singkat ini adalah 5%. Gangguan hubung singkat tiga fasa dapat dilihat pada gambar 2.12 di bawah ini.



**Gambar 2.12** Gangguan hubung singkat tiga fasa

Karena dalam hubung singkat tiga fasa sistemnya seimbang maka urutan negatif dan urutan nol tidak ada, sehingga diperoleh persamaan 2.27 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_a &= V_f - I_{a1} \cdot Z_{f1} = 0 \\ I_{a1} &= I_f = \frac{V_f}{Z_1} \\ I_f 3\phi &= \frac{V_{L-N}}{Z_1} \end{aligned} \quad (2.27)$$

Dimana  $V_{L-N}$  adalah tegangan di titik gangguan sesaat sebelum terjadinya gangguan.  $Z_1$  adalah impedansi urutan nol dilihat dari titik gangguan.

## 2.7 *Geographic Information Systems (GIS)* [3]

Sistem Informasi Geografis (*Geographic Information System*) atau yang lebih dikenal *GIS* adalah sistem informasi geografis yang memuat database tentang tata ruang umum yang menggunakan sistem koordinat sebagai referensinya.

*GIS* membutuhkan input data (dari maps, satelite, survey dan sumber data lainnya), penyimpanan data jaringan, analisa, permodelan dan report data. Komponen-komponen pendukung *GIS* terdiri dari lima komponen yang bekerja secara terintegrasi yaitu perangkat keras (*hardware*), perangkat lunak (*software*), data, manusia, dan metode. Fungsi utama *GIS* adalah Kemampuan analisa jaringan elektrik meliputi pemetaan jaringan distribusi dan analisis topologis, analisis cakupan suplai daya pada jaringan distribusi pendetailan analisis region dan lain sebagainya.

### 2.7.1 **Data Input dan Data Output**

Data input berfungsi untuk mengumpulkan, mempersiapkan dan menyimpan data spasial dan atributnya dari beberapa sumber. Data input juga berfungsi mengkonversikan atau mentransformasi format-format data aslinya ke dalam format yang digunakan oleh *GIS*. Data output berfungsi untuk menampilkan atau menghasilkan keluaran, seluruh atau sebagian data.

### **2.7.2 Data Management**

Data Manajemen berfungsi untuk mengorganisasikan data spasial maupun tabel-tabel atribut yang terkait ke dalam sebuah sistem basis data.

### **2.7.3 Data Manipulation dan Analysis**

Data *manipulation* dan *Analysis* ini berfungsi untuk menentukan informasi-informasi yang dapat dihasilkan oleh *GIS*. Selain itu juga melakukan manipulasi (evaluasi, penggunaan fungsi dan operator matematis, logika) dan permodelan data untuk menghasilkan informasi yang diharapkan.

### **2.7.4 Sejarah dan Perkembangan GIS**

Penggunaan *GIS* modern (berbasis komputer, digital) dimulai sejak tahun 1960-an dan mulai diperkenalkan di Indonesia pada tahun 1972 dengan nama *Data Banks for Development*. Munculnya istilah *GIS* seperti sekarang ini setelah dicetuskan oleh general *Assembly* dari *International Geographical Union* di Ottawa Kanada yang digunakan untuk menyimpan, menganalisa dan mengolah data yang dikumpulkan.

### **2.7.5 GIS dalam Sistem Distribusi Tenaga Listrik**

Aplikasi *GIS* dalam bidang distribusi tenaga listrik seperti: inventaris dan manajemen informasi jaringan distribusi, sistem informasi pelanggan jaringan, perencanaan pemeliharaan dan perluasan jaringan.



## **BAB III**

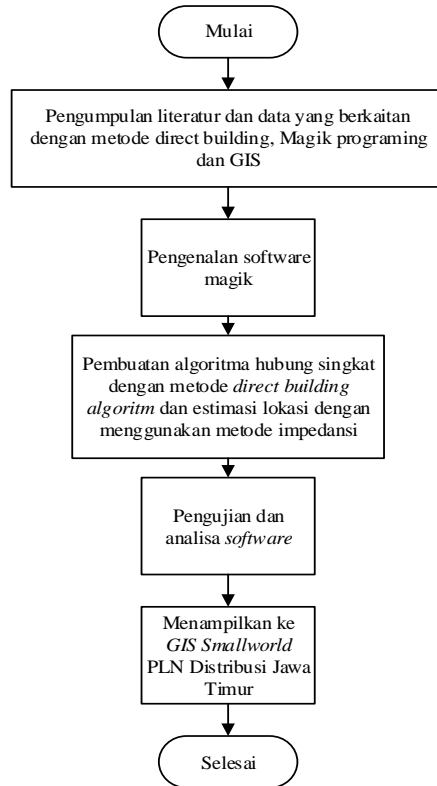
### **PERMODELAN SISTEM**

#### **3.1 Langkah Permodelan Sistem**

Dalam perkembangan analisis hubung singkat dengan menggunakan metode klasik terdapat beberapa pengembangan yang telah dilakukan untuk menambah keakuratan, kemudahan dan kecepatan perhitungan analisis, terutama untuk mengakomodir sistem tiga fasa dalam keadaan tidak seimbang yang sesuai dengan kondisi lapangan, maka langkah-langkah yang perlu dilakukan sebagai berikut:

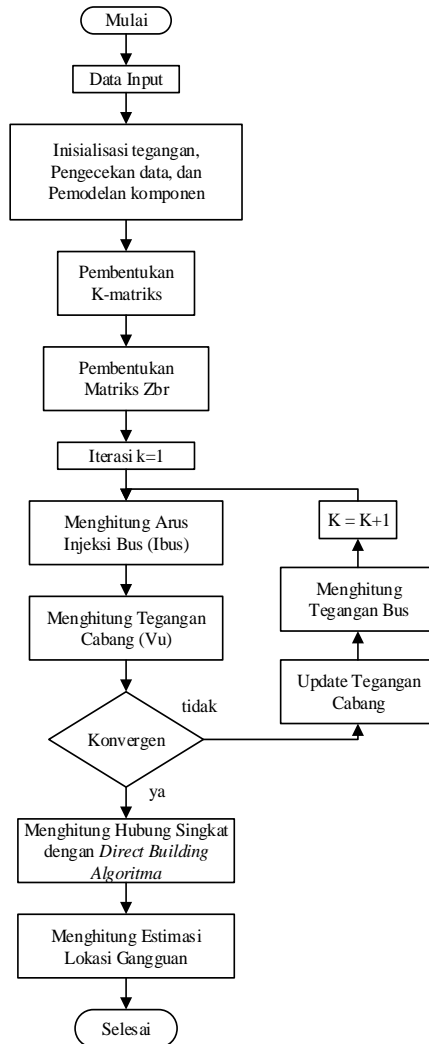
- a. Studi literatur.  
Pada tahap ini referensi tentang metode analisis hubung singkat yang sudah ada dipelajari, dianalisa, dan mengumpulkan referensi tentang bahasa pemrograman *Magik* dan *GIS*.
- b. Pengenalan *software*.  
Pengenalan *software* dilakukan dengan mempelajari *software GIS Smallworld PLN Distribusi Jawa Timur* yang akan dikembangkan.
- c. Pembuatan analisis hubung singkat menggunakan algoritma direct building.  
Pembuatan algoritma ini menggunakan bahasa pemrograman *Magik*, yang digunakan *GE Energy* untuk pengembangan *software GIS Smallworld PLN Distribusi Jawa Timur*.
- d. Pengujian *software*.  
Pengujian akhir dilakukan untuk menguji kinerja *software* yang telah dikembangkan dengan menggunakan data yang berasal dari *GIS Smallworld PLN Distribusi Jawa Timur*.
- e. Validasi metode analisis hubung singkat dengan *ETAP 12.6*.  
Setelah melakukan pengujian, hasil yang telah didapatkan dari analisis hubung singkat akan divalidasi dengan *software Electric Transient and Analysis Program (ETAP)*.
- f. Menghitung estimasi lokasi gangguan.  
Setelah melakukan validasi kemudian untuk mendapatkan lokasi jarak gangguan maka hasil dari analisis hubung singkat tersebut digunakan untuk input dari metode impedansi.
- g. Menampilkan dalam bentuk GIS  
Pada pengujian akhir dilakukan visualisasi dalam bentuk GIS untuk mendapatkan gambaran estimasi lokasi gangguan.

Penjelasan langkah-langkah di atas secara sistematis dapat dibuat dalam bentuk diagram alir seperti pada gambar 3.1 sebagai berikut:



**Gambar 3.1** Diagram alir permodelan sistem

Untuk penjelasan langkah-langkah dalam penyusunan simulasi hubung singkat dan estimasi lokasi dibuat dalam bentuk diagram alir seperti pada gambar 3.2 di bawah ini, dibuat secara sistematis agar dapat dengan mudah dipahami. Karena dari diagram alir simulasi di atas merupakan kerangka dari Tugas Akhir ini.



**Gambar 3.2** Diagram alur simulasi hubung singkat dengan menggunakan algoritma *direct building* dan estimasi gangguan.

### 3.2 Pembentukan K-Matriks

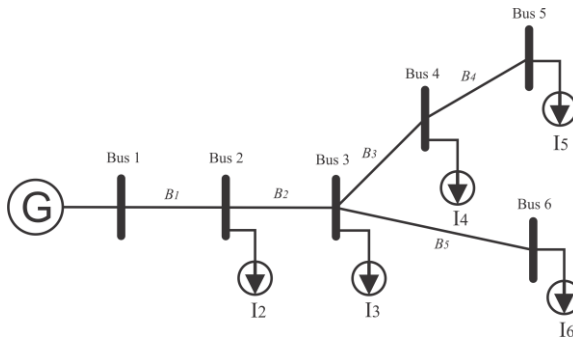
Metode K-matriks merupakan metode pembentukan matriks impedansi dengan melakukan penelusuran alur saluran distribusi. Jalur saluran distribusi direpresentasikan dalam sebuah matriks yang menunjukkan arah arus injeksi dari suatu bus ke bus yang lain dan berorientasi dari bus a menuju bus referensi, elemen matriks ini adalah sebagai berikut:

$K(i,j) = 1$ , jika cabang<sup>i</sup> yang berada di jalur antara bus  $j$ th dan bus referensi dan berorientasi dengan arah yang sama.

$K(i,j) = -1$ , jika cabang<sup>i</sup> yang berada di jalur antara bus  $j$ th dan bus referensi tetapi berorientasi berlawanan arah.

$K(i,j) = 0$ , jika cabang<sup>i</sup> tidak berada di jalur antara bus  $j$ th dan bus referensi.

Berdasarkan asumsi diatas maka didapatkan matriks dengan dimensi  $(n - 1) \times (n - 1)$ . Pada gambar 3.3 di bawah ini merupakan single line diagram contoh analisis dengan menggunakan K-matriks.



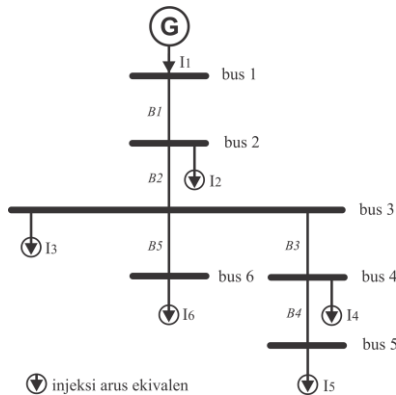
**Gambar 3.3** Single line diagram sederhana menggunakan K-matriks

Pada gambar 3.3 di atas dengan mengacu menggunakan K-matriks maka didapatkan hasil seperti di bawah ini:

	bus2	bus3	bus4	bus5	bus6
B1	-1	-1	-1	-1	-1
B2	0	-1	-1	-1	-1
B3	0	0	-1	-1	0
B4	0	0	0	-1	0
B5	0	0	0	0	-1

### 3.3 Pembentukan Matriks ZBR

Untuk melakukan analisis hubung singkat sistem distribusi diperlukan modifikasi perhitungan untuk memudahkan proses iterasi dan membentuk persamaan. Salah satu metode yang dikembangkan adalah metode  $Z_{BR}$ . Metode  $Z_{BR}$  adalah metode yang digunakan untuk membentuk persamaan hubung singkat dengan menyusun impedansi saluran distribusi radial dalam suatu matrik untuk menghitung drop tegangan. Sebelum membentuk matrik  $Z_{BR}$ , digunakan metode *network topology* untuk mendapatkan persamaan analisis hubung singkat. Pada gambar 3.4 di bawah ini merupakan contoh *single line diagram* yang digunakan untuk pembentukan matriks  $Z_{BR}$ .



**Gambar 3.4** *Single line diagram* contoh pembentukan matriks ZBR

Diacu pada gambar 3.4 dimana terdapat sebuah *single line diagram* sistem distribusi sederhana dengan model rangkaian radial murni disuplai dari satu sumber pada *infinite bus* menyuplai beban yang tersebar dengan jalur tertentu. Maka didapatkan persamaan sederhana 3.1 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 B_1 &= I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6 \\
 B_2 &= I_3 + I_4 + I_5 + I_6 \\
 B_3 &= I_4 + I_5 \\
 B_4 &= I_5 \\
 B_5 &= I_6
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

Persamaan injeksi arus ke bus 3.1 di atas dapat diringkas perhitungannya, selanjutnya dengan menggunakan matrik.

$$\begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \end{bmatrix}$$

Matriks di atas dapat dirumuskan menjadi model persamaan dengan komponen matrik BIBC (*Bus Injection to Branch Current*) atau dapat dilihat pada persamaan 3.2 di bawah ini:

$$[B] = [\mathbf{BIBC}][I] \quad (3.2)$$

Kemudian dibentuk persamaan untuk mencari nilai drop tegangan berdasarkan jalur injeksi arusnya seperti pada persamaan 3.3 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_2 &= V_1 - B_1 \cdot Z_{12} \\ V_3 &= V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} \\ V_4 &= V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} \\ V_5 &= V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} - B_4 \cdot Z_{45} \\ V_6 &= V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} - B_4 \cdot Z_{45} - B_5 \cdot Z_{26} \end{aligned} \quad (3.3)$$

Drop tegangan pada persamaan 3.3 dapat dihitung menjadi persamaan 3.4 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_1 - V_2 &= B_1 \cdot Z_{12} \\ V_1 - V_3 &= B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} \\ V_1 - V_4 &= B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} \\ V_1 - V_5 &= B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} - B_4 \cdot Z_{45} \\ V_1 - V_6 &= B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} - B_4 \cdot Z_{45} - B_5 \cdot Z_{26} \end{aligned} \quad (3.4)$$

Persamaan 3.4 di atas dapat dibentuk dan diselesaikan menggunakan suatu bentuk matriks dengan komponen matrik BCBV (*Branch Current to Branch Voltage*), sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} V_1 - V_2 \\ V_1 - V_3 \\ V_1 - V_4 \\ V_1 - V_5 \\ V_1 - V_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & Z_{36} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix}$$

Dari pembentukan matriks di atas didapatkan persamaan 3.5 sebagai berikut:

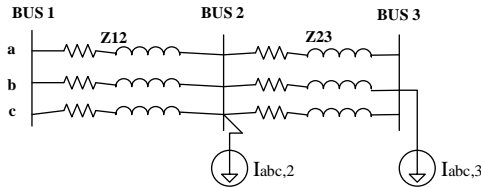
$$[\Delta V] = [BCBV][B] \quad (3.5)$$

Dari persamaan 3.1 dan persamaan 3.5, untuk mendapatkan nilai  $\Delta V$  atau drop tegangan didapatkan persamaan akhir 3.6, sebagai berikut:

$$[\Delta V] = [BCBV][BIBC][I] \quad (3.6)$$

$$[\Delta V] = [DLF][I]$$

Untuk melakukan analisis hubung singkat tiga fasa, persamaan disusun dengan langkah-langkah yang sama. Untuk metode  $Z_{BR}$ , cara menghitung drop tegangan dilakukan per fasa dengan mengubah dimensi matrik menjadi 3 kali lipat karena digunakan untuk menghitung 3 rangkaian fasa. Matrik  $Z_{BR}$  merupakan matrik yang merepresentasikan impedansi saluran tiga fasa yang dibentuk dengan menelusuri jalur arus mengalir ke beban dan dikonversikan ke dalam matrik sesuai dengan nilai impedansi. Untuk pembentukan matriks  $Z_{BR}$  dapat dilihat pada gambar 3.5 di bawah ini, yang merupakan contoh dari jaringan 3 fasa.



**Gambar 3.5** Rangkaian 3 fasa sederhana

Dari contoh pada gambar 3.5 di atas dapat dibentuk matriks  $Z_{BR}$  untuk jaringan 3 fasa, sebagai berikut:

$$Z_{BR} = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_a & 0 & 0 \\ 0 & Z_b & 0 \\ 0 & 0 & Z_c \end{bmatrix} & 0 \\ \begin{bmatrix} Z_a & 0 & 0 \\ 0 & Z_b & 0 \\ 0 & 0 & Z_c \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} Z_a & 0 & 0 \\ 0 & Z_b & 0 \\ 0 & 0 & Z_c \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

### 3.4 Hubung Singkat dengan Metode Algoritma *Direct Building*

Dalam analisis hubung singkat pada penelitian ini menggunakan metode K-matriks dan Z<sub>BR</sub>. Dalam menganalisa membentuk K-matriks dibutuhkan 2 matriks yaitu matriks BIBC dan BCBV. Matrik BIBC yaitu matrik arus cabang dan BCBV adalah matrik tegangan tiap bus [12].

#### 3.4.1 Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Arus hubung singkat satu fasa ke tanah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.7 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} I_{if}^a &= ([BCBV_i^a][BIBC_i^a] + Z_f)^{-1}(V_{i,0}^a) \\ I_{if}^a &= ([Z_{SC}^a])(V_{i,0}^a) \end{aligned} \quad (3.7)$$

Dimana:

$[BCBV_i^a]$  adalah vector kolom matrik  $[BCBV]$  di bus  $i$ , fasa  $a$ ,

$[BIBC_i^a]$  adalah vector kolom matrik  $[BIBC]$  di bus  $i$ , fasa  $a$ ,

$[Z_{SC}^a]$  adalah matrik 1 x 1 pada bus yang terjadi gangguan satu fasa ke tanah.

#### 3.4.2 Hubung Singkat Fasa ke Fasa

Untuk perhitungan arus hubung singkat fasa ke fasa (*line to line*) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.8 sebagai berikut:

$$[\underline{\Delta}V_f] = [BCBV] [BIBC_i^a \ BIBC_i^b] \begin{bmatrix} I_{if}^a \\ I_{if}^b \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

Dimana pada persamaan 3.8 di atas dapat dijabarkan seperti pada persamaan 3.9, 3.10, 3.11, dan 3.12 sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \underline{\Delta}V_{if}^a \\ \underline{\Delta}V_{if}^b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} BCBV_i^a \\ BCBV_i^b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} BIBC_i^a \\ BIBC_i^b \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} I_{if}^a \\ I_{if}^b \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

$$\begin{bmatrix} V_{i,0}^a - Z_f(I_{if}^a + I_{if}^b) \\ V_{i,0}^b - Z_f(I_{if}^a + I_{if}^b) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} BCBV_i^a \\ BCBV_i^b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} BIBC_i^a \\ BIBC_i^b \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} I_{if}^a \\ I_{if}^b \end{bmatrix} \quad (3.10)$$



$$\begin{bmatrix} V_{i,0}^a \\ V_{i,0}^b \end{bmatrix} = \left( \begin{bmatrix} BCBV_i^a \\ BCBV_i^b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} BIBC_i^a \\ BIBC_i^b \end{bmatrix}^T + \begin{bmatrix} Z_f & Z_f \\ Z_f & Z_f \end{bmatrix} \right) \begin{bmatrix} I_{i,f}^a \\ I_{i,f}^b \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

$$\begin{bmatrix} I_{i,f}^a \\ I_{i,f}^b \end{bmatrix} = \left( \begin{bmatrix} BCBV_i^a \\ BCBV_i^b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} BIBC_i^a \\ BIBC_i^b \end{bmatrix}^T + \begin{bmatrix} Z_f & Z_f \\ Z_f & Z_f \end{bmatrix} \right)^{-1} \begin{bmatrix} V_{i,0}^a \\ V_{i,0}^b \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

Dari persamaan 3.12 juga dapat menggunakan persamaan 3.13 di bawah ini, sehingga arus hubung singkat dua fasa atau fasa ke fasa sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} I_{i,f}^a \\ I_{i,f}^b \end{bmatrix} = 0.866 ([Z_{SC}^{ab}])^{-1} \begin{bmatrix} \Delta V_{i,0}^a \\ \Delta V_{i,0}^b \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

Dimana:

$[Z_{SC}^{ab}]$  adalah matrik 2 x 2 pada bus yang terjadi gangguan dua fasa.

### 3.4.3 Hubung Singkat Tiga Fasa

Untuk perhitungan arus hubung singkat tiga fasa dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut, dimana hubung singkat terjadi pada pada fasa a, b, c dari bus ke i:

$$I_i^a = I_{i,f}^a, I_i^b = I_{i,f}^b, I_i^c = I_{i,f}^c \quad (3.14)$$

$$V_{i,f}^a = V_{i,f}^b = Z_f(I_{i,f}^a + I_{i,f}^b + I_{i,f}^c) \quad (3.15)$$

$$\begin{bmatrix} I_{i,f}^a \\ I_{i,f}^b \\ I_{i,f}^c \end{bmatrix} = \left( \begin{bmatrix} BCBV_i^a \\ BCBV_i^b \\ BCBV_i^c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} BIBC_i^a \\ BIBC_i^b \\ BIBC_i^c \end{bmatrix}^T + \begin{bmatrix} Z_f & Z_f & Z_f \\ Z_f & Z_f & Z_f \\ Z_f & Z_f & Z_f \end{bmatrix} \right)^{-1} \begin{bmatrix} V_{i,0}^a \\ V_{i,0}^b \\ V_{i,0}^c \end{bmatrix} \quad (3.16)$$

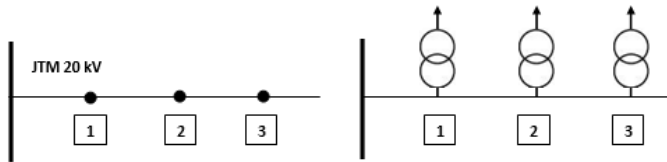
$$\begin{bmatrix} I_{i,f}^a \\ I_{i,f}^b \\ I_{i,f}^c \end{bmatrix} = ([Z_{SC}^{abc}])^{-1} \begin{bmatrix} \Delta V_{i,0}^a \\ \Delta V_{i,0}^b \\ \Delta V_{i,0}^c \end{bmatrix} \quad (3.17)$$

Dimana:

$[Z_{SC}^{abc}]$  adalah matrik 3 x 3 pada bus yang terjadi gangguan tiga fasa

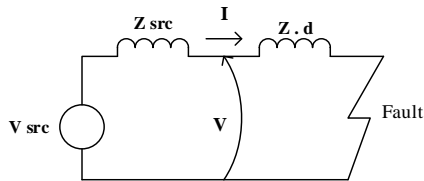
### 3.5 Algoritma Penentuan Lokasi Gangguan

Sebelum menentukan lokasi gangguan, langkah awal menentukan diagram pengganti jaringan distribusi untuk memudahkan dalam menganalisis. Gambar 3.6 memperlihatkan jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV, dan diagram pengganti dari jaringan distribusi beserta trafo-trafo distribusinya, berupa lingkaran kecil (*node*) pada penyulang. Posisi lingkaran disesuaikan dengan posisi dimana trafo distribusi tersebut diletakan dalam suatu penyulang [7].



**Gambar 3.6** Diagram pengganti jaringan distribusi

Metode impedansi dalam memperkirakan lokasi gangguan secara umum menggunakan pengukuran dari tegangan dan arus pada pantauan gardu induk. Berdasarkan hukum ohm, tegangan dan arus dari node dapat digunakan untuk menentukan gangguan hubung singkat [10]. Seperti pada gambar 3.7 dibawah.



**Gambar 3.7** Metode lokasi gangguan berbasis impedansi

Dari gambar 3.7 didapatkan sebuah solusi persamaan sederhana untuk mencari jarak lokasi gangguan seperti pada persamaan 3.18 sebagai berikut.

$$d = \frac{V}{Z \times I} \quad (3.18)$$

Dimana  $V$  adalah tegangan saat terjadi gangguan (volt),  $I$  adalah arus saat terjadi gangguan (Ampere),  $Z$  adalah impedansi saat terjadi gangguan, dan  $d$  adalah jarak gangguan dengan satuan panjang meter. Berikut merupakan penjabaran dari persamaan 3.18 di atas untuk mendapatkan nilai dalam satuan meter.

$$d(m) = \frac{V(\text{volt})}{Z(\Omega/m) \times I(A)}$$

$$d(m) = \frac{\frac{V(\text{volt})}{I(A)} = Z(\Omega/m)}{Z(\Omega/m)}$$

Jika satuan  $\Omega$  (ohm) dalam  $Z(\Omega/m)$ ,  $Z$  atau impedansi saling dihilangkan maka didapatkan satuan yang sama dengan  $d$  atau jarak yaitu meter. Tetapi nilai impedansi yang didapatkan harus diproses lebih terprinci di dalam penentuan lokasi gangguan untuk berbagai jenis gangguan, sehingga didapatkan hasil yang akurat. Impedansi jaringan merupakan hasil dari perkalian jarak gangguan dengan impedansi kawat satuan ohm/km. Dimana jarak gangguan dapat ditentukan dengan persamaan 3.19 berikut:

$$Z_f = Z_p + (Z_n \times J_n) + R_f \quad (3.19)$$

Dengan  $Z_f$  ( $\Omega$ ) adalah impedansi saat terjadi gangguan,  $Z_p$  adalah impedansi pada gardu,  $Z_n$  ( $\Omega/\text{km}$ ) adalah impedansi saluran pada bus ke- $n$ ,  $J_n$  adalah jarak gangguan pada bus ke- $n$ . Untuk mencari jarak gangguan pada bus ke- $n$ , maka didapatkan persamaan 3.20 sebagai berikut:

$$J_n = \frac{Z_f - Z_p - R_f}{Z_n} \quad (3.20)$$

Dengan nilai  $R_f$  diabaikan maka, persamaan 3.20 dapat ditulis menjadi persamaan 3.21 sebagai berikut:

$$J_n = \frac{\left(\frac{V}{I_{fn}}\right) - \left(\frac{V}{I_{asc}}\right)}{Z_n} \quad (3.21)$$

Dimana  $J_n$  adalah jarak dalam 1/1000 meter,  $V$  adalah tegangan satu fasa,  $I_{fn}$  adalah arus saat terjadi gangguan pada bus ke- $n$ ,  $I_{asc}$  adalah nilai arus gangguan pada gardu induk dan  $Z_n$  adalah impedansi total.  $Z_n$  untuk masing masing tipe gangguan memiliki persamaan yang berbeda-beda.  $Z_n$  untuk tipe gangguan satu fasa ke tanah (*single line to ground*) dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 3.22 sebagai berikut:

$$Z_n = \frac{Z_1 + Z_2 + Z_0}{3} \quad (3.22)$$

Dimana  $Z_1$  pada persamaan 3.22 di atas merupakan impedansi urutan positif,  $Z_2$  merupakan impedansi urutan negatif dan  $Z_0$  merupakan impedansi urutan nol. Untuk tipe gangguan antar fasa (*line to line*) nilai  $Z_n$  dapat diperoleh dengan persamaan 3.23 di bawah ini.

$$Z_n = \frac{Z_1 \times 2}{\sqrt{3}} \quad (3.23)$$

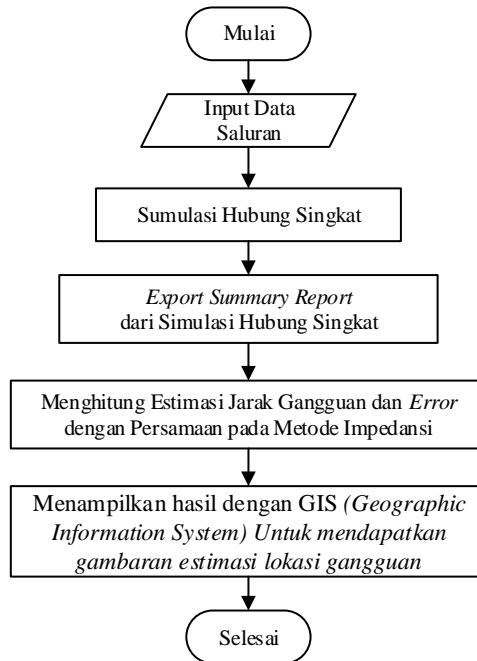
Untuk tipe gangguan tiga fasa nilai  $Z_n$  dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 3.24 di bawah ini.

$$Z_n = Z_1 \quad (3.24)$$

Untuk perhitungan nilai error atau besarnya nilai kesalahan dari hasil yang didapatkan dalam percobaan, padat menggunakan persamaan 3.25 sebagai berikut.

$$er = \frac{|J_{est} - J_{act}|}{l} \times 100 \% \quad (3.25)$$

Dimana  $er$  dinyatakan sebagai nilai *error* dalam persen,  $J_{est}$  atau  $J_n$  merupakan jarak estimasi dalam satuan meter yang didapatkan dari proses perhitungan,  $J_{act}$  merupakan jarak sebenarnya dan  $l$  merupakan panjang atau jarak keseluruhan *section* atau bagian dari gardu induk ke titik terakhir dalam saluran distribusi. *Flowchart* diagram alir proses estimasi lokasi gangguan pada jaringan distrbusi dengan menggunakan ETAP 12.6 pada Tugas Akhir ini dapat dilihat pada gambar 3.8 di bawah ini.



**Gambar 3.8** Flowchart alir proses estimasi lokasi gangguan

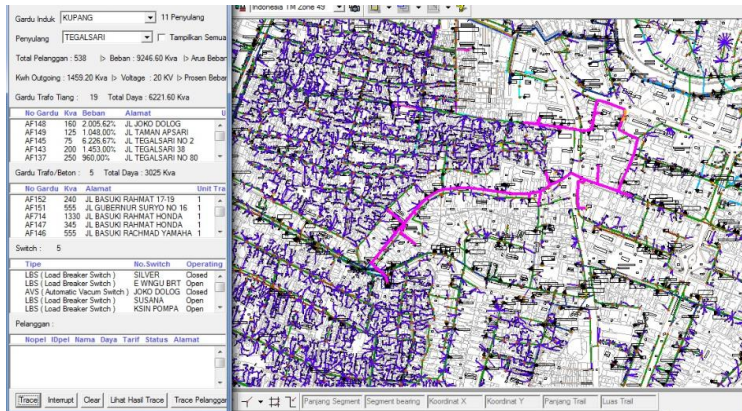
### 3.6 *Geographic Information System (GIS)*

Pada Tugas Akhir ini menggunakan perangkat lunak *GIS Smallworld* PLN Area Distribusi Jawa Timur yaitu software aplikasi yang menyediakan pengelolaan aset geospasial utilitas listrik untuk mendukung perencanaan jaringan, desain, pemeliharaan dan operasi pada PT. PLN Area Distribusi Jawa Timur, seperti pada gambar 3.9 di bawah ini.



**Gambar 3.9** Tampilan awal *GIS smallworld* PLN Distribusi Jawa Timur

Setelah memilih gardu induk “Kupang”, penyulang “Tegalsari” maka dapat di *trace* topologi jaringan sistem tenaga listrik seperti pada gambar 3.10 di bawah ini.

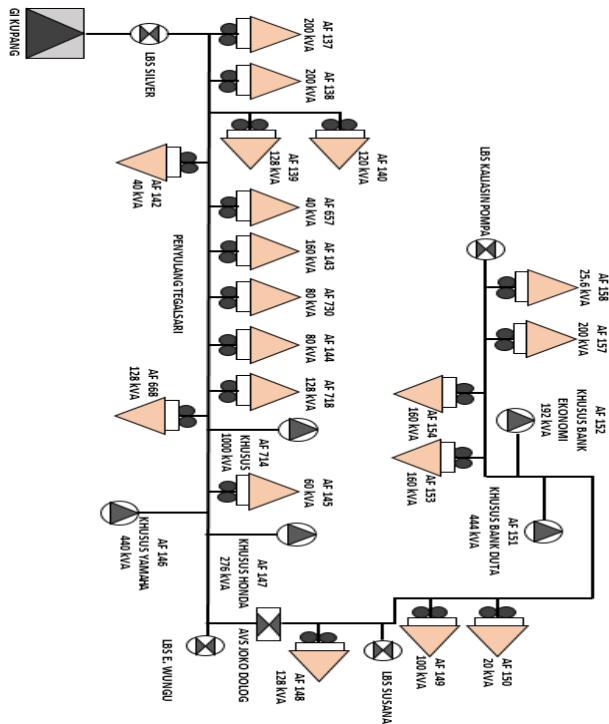


**Gambar 3.10** Tampilan *GIS smallworld* PLN Distribusi Jawa Timur pada Penyulang Tegalsari

### 3.7 Sistem Kelistrikan Penyulang Tegalsari di GIS

Kota Surabaya merupakan kota yang padat penduduk, selain itu memiliki industri dengan kebutuhan daya listrik yang cukup tinggi dan membutuhkan suplai daya listrik yang cukup besar. Dalam Tugas Akhir

ini menggunakan *plan* penyulang Tegalsari. Topologi jaringannya memiliki tipe jaringan radial. Penyulang Tegalsari memiliki 25 bus termasuk trafo khusus dengan menggunakan level tegangan 20 kV. Dari gambar 3.10 yaitu tampilan GIS *Smallworld* PLN penyulang Tegalsari Surabaya dapat di perjelas pada gambar 3.11 dibawah ini, yang memudahkan untuk proses pembuatan single line diagram untuk proses awal dalam Tugas Akhir.



**Gambar 3.11** Single line diagram Penyulang Tegalsari

Pada gambar 3.11 merupakan gambar *single line diagram* saluran distribusi penyulang Tegalsari. Pada tabel 3.1 adalah data dari panjang saluran udara dan data impedansi saluran pada saluran distribusi

penyulang Tegalsari Surabaya yang didapatkan dari *GIS Smallworld* PLN Area Distribusi Jawa Timur.

**Tabel 3.1** Data panjang saluran udara Penyulang Tegalsari

Dari Bus	Ke Bus	panjang (m)	Impedansi Saluran (R)	Impedansi Saluran (X)
1	2	83,23	0.02205	0.01082
2	3	123,39	0.03269	0.01604
3	4	46,46	0.01231	0.00604
4	5	27,32	0.00724	0.00355
4	6	57,68	0.01528	0.00749
6	7	63,41	0.01680	0.00824
7	8	33,41	0.00885	0.00434
8	9	64,61	0.01712	0.00839
9	10	123,68	0.03277	0.01607
10	11	11,46	0.00303	0.00148
11	12	89,69	0.02376	0.01166
12	13	118,24	0.03133	0.01537
12	14	81	0.02146	0.01053
14	15	254	0.06731	0.03302
14	16	178,58	0.04732	0.02321
14	17	223.7	0.06792	0.03332
17	18	81	0.05926	0.02907
18	19	18,1	0.00479	0.00235
19	20	195.5	0.05178	0.02540
19	21	192	0.05194	0.02548
19	22	200	0.05300	0.02600
22	23	32,66	0.00865	0.00424
23	24	71,26	0.01888	0.00926
24	25	21,36	0.00566	0.00277

Pada *software GIS Smallworld* PLN Area Distribusi Jawa Timur, tiap bus diwakilkan dengan gardu trafo. Berikut adalah nama-nama



gardu trafo dapat dilihat pada tabel 3.2. Sedangkan data pembebanan tiap fasa pada penyulang Tegalsari terdapat pada tabel 3.3 sebagai berikut.

**Tabel 3.2** Nomer gardu pada *GIS* Penyulang Tegalsari

No Bus	No Gardu
1	BGRID
2	AF137
3	AF138
4	AF139
5	AF140
6	AF142
7	AF657
8	AF143
9	AF730
10	AF144
11	AF718
12	AF668
13	AF714
14	AF145
15	AF147
16	AF146
17	AF148
18	AF149
19	AF150
20	AF151
21	AF152
22	AF153
23	AF154
24	AF156
25	AF158

**Tabel 3.3** Data pembebanan tiap fasa Penyulang Tegalsari

BUS	DAYA					
	P (kW)			Q (kVAR)		
	R-N	S-N	T-N	R-N	S-N	T-N
AF137	65.075	62.7	61.75	21.389	20.608	20.296
AF138	62.7	66.12	60.8	20.608	21.733	19.984
AF139	38.95	40.85	41.705	12.802	13.427	13.708
AF140	37.81	39.9	36	12.428	13.114	11.834
AF142	11.4	9.5	17.1	3.747	3.122	5.62
AF657	12.825	11.4	13.775	4.215	3.747	4.528
AF143	53.77	52.345	45.505	17.673	17.205	14.957
AF730	26.6	24.98	24.41	8.743	8.212	8.025
AF144	23.75	28.5	23.75	7.806	9.367	7.806
AF718	39.9	42.75	38.95	13.114	14.051	12.802
AF668	40.85	40.48	39.9	13.427	13.427	13.114
AF714	402	323	225	132	106	73
AF145	23.75	17.575	15.675	7.806	5.777	5.152
AF147	132	153	133	43.403	50.272	43.715
AF146	92.72	94.525	75.05	30.476	31.069	24.668
AF148	40.185	42.465	39.235	13.208	13.958	12.896
AF149	38	28.5	28.5	12.49	9.367	9.367
AF150	7.6	4.75	6.65	2.498	1.561	2.186
AF151	142	137	143	46.526	44.964	47.15
AF152	74.1	65.55	42.75	24.355	21.545	14.051
AF153	57	52.25	42.75	18.735	17.174	14.051
AF154	49.4	55.1	47.5	16.237	18.11	15.612
AF156	62.7	65.36	61.75	20.608	21.483	20.296
AF158	8.74	7.41	8.17	2.873	2.436	2.685

## BAB IV SIMULASI DAN ANALISIS

### 4.1 Simulasi Gangguan pada Jaringan Distribusi

Simulasi gangguan hubung singkat pada jaringan distribusi 20 kV penyulang Tegalsari, Surabaya dilakukan dengan dua kasus, kasus pertama menggunakan software ETAP 12.6 dan kasus ke dua menggunakan metode algoritma *direct building* yang hasil arusnya akan divalidasi dengan ETAP 12.6. Pada proses simulasi gangguan, yang dilakukan pertama adalah pembuatan *single line diagram*, langkah berikutnya melakukan simulasi hubung singkat pada setiap bus. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan nilai arus dan nilai impedansi (impedansi positif, negatif, dan nol) saat terjadi gangguan. Nilai impedansi dan arus yang didapatkan digunakan sebagai masukan perhitungan estimasi jarak lokasi gangguan hubung singkat. Data yang digunakan dalam simulasi hubung singkat ditunjukkan pada tabel 4.1 di bawah ini.

**Tabel 4.1** Data simulasi hubung singkat

Data	Nilai
a. Gardu Induk	
1. Tegangan 3 fasa	20 kV
2. Tegangan 1 fasa	11.547 kV
3. MVAsc 3 fasa	250
4. MVAsc 1 fasa	150
5. kAsc 3 fasa	7.217
6. kAsc 1 fasa	4.33
7. X/R	10
b. Data Kabel	
1. Tipe	XLPE
2. Diameter	150 mm
3. Panjang	Bervariasi

Untuk Tabel 4.2, Tabel 4.3, dan Tabel 4.4 di bawah merupakan hasil dari hubung singkat untuk setiap bus yang diujikan dan didapatkan

data impedansi dan arus untuk gangguan satu fasa ke tanah (*line to ground*), fasa ke fasa (*line to line*), dan tiga fasa (*line to line to line*).

**Tabel 4.2** Data impedansi dan arus gangguan hasil simulasi hubung singkat satu fasa ke tanah (*line to ground*)

BUS	Arus (kA)	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>0</sub>
Bus1	4.330	1.76000	1.76000	5.28000
Bus2	4.302	1.77297	1.77297	5.31073
Bus3	4.262	1.79260	1.79260	5.35661
Bus4	4.246	1.80011	1.80011	5.37398
Bus5	4.237	1.80455	1.80455	5.38421
Bus6	4.227	1.80952	1.80952	5.39561
Bus7	4.210	1.81833	1.81833	5.41572
Bus8	4.199	1.82388	1.82388	5.42833
Bus9	4.178	1.83471	1.83471	5.45279
Bus10	4.137	1.85589	1.85589	5.49988
Bus11	4.134	1.85786	1.85786	5.50426
Bus12	4.105	1.87342	1.87342	5.53864
Bus13	4.067	1.89426	1.89426	5.58424
Bus14	4.079	1.88766	1.88766	5.56985
Bus15	3.998	1.93341	1.93341	5.66860
Bus16	4.022	1.91965	1.91965	5.63914
Bus17	4.007	1.92786	1.92786	5.65673
Bus18	3.982	1.94272	1.94272	5.68846
Bus19	3.976	1.94606	1.94606	5.69556
Bus20	3.916	1.98266	1.98266	5.77273
Bus21	3.917	1.98200	1.98200	5.77136
Bus22	3.914	1.98352	1.98352	5.77453
Bus23	3.904	1.98972	1.98972	5.78750
Bus24	3.882	2.00334	2.00334	5.81587
Bus25	3.876	2.00744	2.00744	5.82439

**Tabel 4.3** Data impedansi dan arus gangguan hasil simulasi hubung singkat fasa ke fasa (*line to line*)

BUS	Arus (kA)	$Z_1$	$Z_2$	$Z_0$
Bus1	6.250	1.76000	1.76000	5.28000
Bus2	6.204	1.77297	1.77297	5.31073
Bus3	6.136	1.79260	1.79260	5.35661
Bus4	6.111	1.80011	1.80011	5.37398
Bus5	6.096	1.80455	1.80455	5.38421
Bus6	6.079	1.80952	1.80952	5.39561
Bus7	6.050	1.81833	1.81833	5.41572
Bus8	6.031	1.82388	1.82388	5.42833
Bus9	5.996	1.83471	1.83471	5.45279
Bus10	5.927	1.85589	1.85589	5.49988
Bus11	5.921	1.85786	1.85786	5.50426
Bus12	5.872	1.87342	1.87342	5.53864
Bus13	5.807	1.89426	1.89426	5.58424
Bus14	5.827	1.88766	1.88766	5.56985
Bus15	5.689	1.93341	1.93341	5.66860
Bus16	5.730	1.91965	1.91965	5.63914
Bus17	5.706	1.92786	1.92786	5.65673
Bus18	5.662	1.94272	1.94272	5.68846
Bus19	5.652	1.94606	1.94606	5.69556
Bus20	5.548	1.98266	1.98266	5.77273
Bus21	5.550	1.98200	1.98200	5.77136
Bus22	5.546	1.98352	1.98352	5.77453
Bus23	5.528	1.98972	1.98972	5.78750
Bus24	5.491	2.00334	2.00334	5.81587
Bus25	5.480	2.00744	2.00744	5.82439

**Tabel 4.4** Data impedansi dan arus gangguan hasil simulasi hubung tiga fasa (*line to line to line*)

BUS	Arus (kA)	$Z_1$	$Z_2$	$Z_0$
Bus1	7.217	1.76000	1.76000	5.28000
Bus2	7.164	1.77297	1.77297	5.31073
Bus3	7.086	1.79260	1.79260	5.35661
Bus4	7.056	1.80011	1.80011	5.37398
Bus5	7.039	1.80455	1.80455	5.38421
Bus6	7.019	1.80952	1.80952	5.39561
Bus7	6.985	1.81833	1.81833	5.41572
Bus8	6.964	1.82388	1.82388	5.42833
Bus9	6.923	1.83471	1.83471	5.45279
Bus10	6.844	1.85589	1.85589	5.49988
Bus11	6.837	1.85786	1.85786	5.50426
Bus12	6.780	1.87342	1.87342	5.53864
Bus13	6.705	1.89426	1.89426	5.58424
Bus14	6.729	1.88766	1.88766	5.56985
Bus15	6.570	1.93341	1.93341	5.66860
Bus16	6.617	1.91965	1.91965	5.63914
Bus17	6.589	1.92786	1.92786	5.65673
Bus18	6.538	1.94272	1.94272	5.68846
Bus19	6.527	1.94606	1.94606	5.69556
Bus20	6.406	1.98266	1.98266	5.77273
Bus21	6.409	1.98200	1.98200	5.77136
Bus22	6.404	1.98352	1.98352	5.77453
Bus23	6.384	1.98972	1.98972	5.78750
Bus24	6.340	2.00334	2.00334	5.81587
Bus25	6.327	2.00744	2.00744	5.82439

Untuk simulasi gangguan hubung singkat pada kasus ke dua dengan menggunakan metode algoritma *direct building* pada pemrograman magik, hasil perhitungan arusnya divalidasikan dengan hasil ETAP 12.6 pada kasus pertama. Pada tabel 4.5 di bawah ini merupakan hasil validasi metode dengan hasil ETAP 12.6.

**Tabel 4.5** Hasil validasi algoritma *direct building* dengan ETAP 12.6

BUS	SLG			LL			LLL		
	Magik	Etap	error %	Magik	Etap	error%	Magik	Etap	error %
Bus2	4.295	4.302	0.172	6.165	6.204	0.637	7.119	7.164	0.629
Bus3	4.243	4.262	0.435	6.103	6.136	0.546	7.024	7.086	0.870
Bus4	4.224	4.246	0.523	6.081	6.111	0.489	6.99	7.056	0.936
Bus5	4.212	4.237	0.595	6.068	6.096	0.456	6.97	7.039	0.975
Bus6	4.2	4.227	0.643	6.053	6.079	0.428	6.947	7.019	1.031
Bus7	4.174	4.210	0.847	6.024	6.050	0.423	6.902	6.985	1.193
Bus8	4.161	4.199	0.898	6.008	6.031	0.384	6.878	6.964	1.236
Bus9	4.135	4.178	1.019	5.979	5.996	0.276	6.833	6.923	1.300
Bus10	4.086	4.137	1.239	5.924	5.927	0.052	6.748	6.844	1.402
Bus11	4.082	4.134	1.247	5.919	5.921	0.030	6.74	6.837	1.415
Bus12	4.047	4.105	1.403	5.881	5.872	0.159	6.681	6.780	1.459
Bus13	4.003	4.067	1.565	5.831	5.807	0.411	6.605	6.705	1.496
Bus14	4.017	4.079	1.510	5.847	5.827	0.336	6.629	6.729	1.483
Bus15	3.923	3.998	1.874	5.745	5.689	0.967	6.472	6.570	1.485
Bus16	3.95	4.022	1.783	5.774	5.730	0.758	6.518	6.617	1.491
Bus17	3.922	4.007	2.133	5.744	5.706	0.664	6.471	6.589	1.783
Bus18	3.843	3.982	3.490	5.66	5.662	0.038	6.341	6.538	3.014
Bus19	3.836	3.976	3.529	5.653	5.652	0.009	6.331	6.527	3.001
Bus20	3.769	3.916	3.743	5.584	5.548	0.642	6.225	6.406	2.831
Bus21	3.769	3.917	3.769	5.584	5.550	0.609	6.225	6.409	2.863
Bus22	3.768	3.914	3.734	5.583	5.546	0.668	6.222	6.404	2.836
Bus23	3.757	3.904	3.768	5.571	5.528	0.764	6.205	6.384	2.798
Bus24	3.733	3.882	3.845	5.547	5.491	1.012	6.168	6.340	2.717
Bus25	3.726	3.876	3.863	5.54	5.480	1.090	6.157	6.327	2.691

#### 4.2 Perhitungan Estimasi Lokasi Jarak Gangguan.

Pada Tugas Akhir ini simulasi penentuan lokasi gangguan hubung singkat yang diujikan pada sistem distribusi radial penyulang Tegalsari, Surabaya dengan beberapa kasus. Metode yang digunakan untuk estimasi lokasi gangguan adalah metode Impedansi. Berikut adalah kasus yang dilakukan:

- a. Kasus 1 adalah Perhitungan penentuan estimasi lokasi jarak gangguan hubung singkat pada *section 1* dengan tipe gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah (*line to ground fault*), dan menampilkan hasil semua *section* yang diujikan, membandingkan hasil dari perhitungan menggunakan algoritma *direct building* yang digabungkan dengan metode impedansi.
- b. Kasus 2 adalah Perhitungan penentuan estimasi lokasi jarak gangguan hubung singkat pada *section 2* dengan tipe gangguan hubung singkat antar fasa (*line to line fault*) dan menampilkan hasil semua *section* yang diujikan.
- c. Kasus 3 adalah Perhitungan penentuan estimasi lokasi jarak gangguan hubung singkat pada *section 3* dengan tipe gangguan hubung singkat tiga fasa (*line to line to line fault*) dan menampilkan hasil semua *section* yang diujikan.

#### 4.3 Perhitungan Estimasi Lokasi Jarak Gangguan pada Kasus 1

Dari proses simulasi *short circuit* atau hubung singkat yang dilakukan sebelumnya menghasilkan nilai impedansi positif, impedansi negatif, impedansi nol dan nilai arus pada titik bus ketika terjadi gangguan hubung singkat. Nilai impedansi yang didapatkan dari hasil analisa hubung singkat tidak bisa secara langsung digunakan untuk menghitung estimasi jarak lokasi gangguan. Disebabkan karena adanya impedansi pada gardu induk, nilai impedansi yang didapatkan terlebih dahulu dikurangi dengan nilai impedansi pada gardu induk. Setiap nilai yang didapatkan dari proses simulasi digunakan untuk menghitung estimasi jarak lokasi gangguan dengan menggunakan rumus pada persamaan (3.21). Pada setiap tipe gangguan memiliki nilai  $Z_n$  yang berbeda. Perhitungan estimasi jarak dengan menggunakan metode berbasis impedansi adalah sebagai berikut:

1. Parameter gangguan
  - a. Tipe gangguan adalah *single line to ground*
  - b. Impedansi nol pada bus 1 adalah  $5.28000 \Omega$ , pada bus 2 adalah  $5.31073 \Omega$



- c. Impedansi positif dan impedansi negatif pada bus 1 adalah  $1.76000 \Omega$ , bus 2 adalah  $1.77297 \Omega$
  - d. Arus gangguan pada bus 2 adalah  $4.302 \text{ kA}$
  - e. Panjang *section* 1 atau panjang hantaran dari bus 1 ke bus 2 adalah  $83.23 \text{ meter}$
2. Perhitungan nilai  $Z_n$  yang digunakan untuk pembagi
- a. Selisih impedansi positif dan negatif  

$$1.77297 \Omega - 1.76000 \Omega = 0.01297 \Omega$$
  - b. Selisih impedansi nol  

$$5.31073 \Omega - 5.28000 \Omega = 0.03073 \Omega$$
  - c. Selisih impedansi positif dan negatif dibagi dengan panjang *section* atau panjang hantaran dan dikalikan 1000 adalah  

$$0.01297 \Omega \div 83.23 = 0.0001558$$

$$0.0001558 \times 1000 = 0.1558$$
  - d. Selisih impedansi nol dibagi dengan panjang *section* atau panjang hantaran dan dikalikan 1000 adalah  

$$0.03073 \Omega \div 83.23 = 0.0003692$$

$$0.0003692 \times 1000 = 0.3692$$
  - e. Impedansi total ( $Z_n$ ) adalah  

$$Z_n = \frac{Z_1 + Z_2 + Z_0}{3}$$

$$Z_n = (0.1558 + 0.1558 + 0.3692) / 3 = 0.2269 \Omega$$

Maka didapatkan nilai pembagi adalah  $Z_n = 0.2269 \Omega$
3. Perhitungan estimasi jarak lokasi gangguan
- a. Menghitung impedansi saluran pada bus ke-n dengan membagi tegangan terhadap arus pada saat terjadi gangguan  

$$11.547 \div 4.302 = 2.6841$$
  - b. Menghitung impedansi pada gardu induk  

$$11.547 \div 4.330 = 2.6667$$
  - c. Hasil impedansi pada tahap 3a dikurangi dengan impedansi gardu induk  

$$2.6841 - 2.6667 = 0.0174$$
  - d. Hasil pengurangan pada tahap 3c dibagi dengan nilai pembagi ( $Z_n$ ) yang telah didapatkan.  

$$0.0174 \div 0.2269 = 0.07668$$
  - e. Hasil pada tahap 3d kemudian dikalikan dengan 1000 untuk mendapatkan jarak dalam satuan meter.  

$$0.07668 \times 1000 = 76.68 \text{ m}$$

Dari perhitungan estimasi lokasi jarak gangguan yang dilakukan dengan menggunakan metode berbasis impedansi untuk gangguan satu fasa ke tanah pada *section* 1 atau pada saluran 1-2 didapatkan nilai 76.68 meter. Hasil tersebut mendekati panjang sebenarnya dari *section* 1 yaitu 83.23 meter. Pengujian ketepatan perhitungan dengan metode berbasis impedansi dilakukan untuk semua titik yang disimulasikan, yaitu 24 titik dengan masing-masing *section* dapat dilihat pada tabel 4.6 di bawah ini.

**Tabel 4.6** Hasil simulasi estimasi lokasi gangguan satu fasa ke tanah.

Section	BUS		Estimasi (m)	Lokasi (m)	Selisih (m)	Error (%)
1	GRID	AF137	76.68	83.23	6.55	0.29
2	AF137	AF138	111.1	123.4	12.33	0.547
3	AF138	AF139	42.21	46.46	4.248	0.188
4	AF139	AF140	24.82	27.32	2.503	0.111
5	AF139	AF142	52.38	57.68	5.296	0.235
6	AF142	AF657	57.29	63.41	6.117	0.271
7	AF657	AF143	30.2	33.41	3.207	0.142
8	AF143	AF730	58.36	64.61	6.247	0.277
9	AF730	AF144	112.1	123.7	11.55	0.513
10	AF144	AF718	10.35	11.46	1.11	0.049
11	AF718	AF668	81.01	89.69	8.679	0.385
12	AF668	AF714	106.8	118.2	11.44	0.508
13	AF668	AF145	73.14	81	7.857	0.349
14	AF145	AF146	229.5	254	24.55	1.091
15	AF145	AF147	161.3	178.6	17.32	0.769
16	AF145	AF148	202.4	223.7	21.21	0.942
17	AF148	AF149	73.18	81	7.822	0.347
18	AF149	AF150	16.37	18.1	1.732	0.076
19	AF150	AF151	176.2	195.5	19.23	0.854
20	AF150	AF152	173.1	192	18.85	0.837
21	AF150	AF153	180.6	200	19.39	0.861
22	AF153	AF154	29.49	32.66	3.174	0.141
23	AF154	AF156	64.34	71.26	6.919	0.307
24	AF156	AF158	19.26	21.36	2.100	0.093

Pada tabel 4.6 merupakan hasil perhitungan dengan menggunakan metode berbasis impedansi yang data inputnya didapatkan dari ETAP 12.6, untuk tabel 4.7 di bawah ini merupakan hasil yang didapatkan dengan menggunakan gabungan metode impedansi dan algoritma *direct building*.

**Tabel 4.7** Hasil simulasi estimasi lokasi menggunakan algoritma *direct building* dan metode impedansi

Dari	Ke	Estimasi	Lokasi	Selisih	Error(%)
BGRID	AF137	82.94	83.23	0.2948	0.0131
AF137	AF138	123.2	123.4	0.1758	0.0078
AF138	AF139	46.41	46.46	0.054	0.0023
AF139	AF140	27.29	27.32	0.0286	0.0012
AF139	AF142	57.63	57.68	0.0545	0.0024
AF142	AF657	63.36	63.41	0.0497	0.0022
AF657	AF143	33.39	33.41	0.024	0.001
AF143	AF730	64.57	64.61	0.0401	0.0017
AF730	AF144	123.6	123.7	0.0608	0.0027
AF144	AF718	11.45	11.46	0.0055	0.0002
AF718	AF668	89.65	89.69	0.0376	0.0016
AF668	AF714	118.2	118.2	0.0423	0.0018
AF668	AF145	80.97	81	0.0304	0.0013
AF145	AF146	253.9	254	0.0717	0.0031
AF145	AF147	178.5	178.6	0.0544	0.0024
AF145	AF148	256.2	256.3	0.0722	0.0032
AF148	AF149	223.6	223.7	0.0517	0.0022
AF149	AF150	18.1	18.1	0.0041	0.0001
AF150	AF151	195.4	195.4	0.0385	0.0017
AF150	AF152	196	196	0.0386	0.0017
AF150	AF153	200	200	0.0393	0.0017
AF153	AF154	32.65	32.66	0.0062	0.0002
AF154	AF156	71.25	71.26	0.013	0.0005
AF156	AF158	21.36	21.36	0.0038	0.0001

Pada kedua tabel di atas atau tabel 4.6 dan 4.7 terlihat bahwa hasil estimasi yang didapatkan dari metode berbasis impedansi mendekati hasil

yang diujikan atau jarak sebenarnya, masih terdapat selisih dari hasil yang didapatkan dengan selisih jarak terbesar adalah 24.55 m untuk tabel 4.6, tetapi masih berada dalam section yang diujikan, untuk tabel 4.7 tingkat kesalahan yang kecil disebabkan adanya perubahan nilai pembagi yang disesuaikan dengan panjang hantaran antara titik dan nilai impedansi yang didapatkan. Hal ini menunjukkan bahwa ketelitian dalam perhitungan sangat diperlukan dalam proses estimasi lokasi gangguan.

#### 4.4 Perhitungan Estimasi Lokasi Jarak Gangguan pada Kasus 2

Setiap nilai yang didapatkan dari proses simulasi digunakan untuk menghitung estimasi jarak lokasi gangguan dengan menggunakan rumus pada persamaan (3.21). Pada setiap tipe gangguan memiliki nilai  $Z_n$  yang berbeda. Perhitungan estimasi jarak dengan menggunakan metode berbasis impedansi adalah sebagai berikut:

1. Parameter gangguan
  - a. Tipe gangguan adalah *Line to Line*
  - b. Impedansi nol pada bus 1 adalah  $5.28000 \Omega$ , pada bus 3 adalah  $5.35661 \Omega$
  - c. Impedansi positif dan impedansi negatif pada bus 1 adalah  $1.76000 \Omega$ , bus 3 adalah  $1.79260 \Omega$
  - d. Arus gangguan pada bus 3 adalah  $6.136 \text{ kA}$
  - e. Panjang *section 2* atau panjang hantaran dari bus 2 ke bus 3 adalah  $123.39 \text{ meter}$
2. Perhitungan nilai  $Z_n$  yang digunakan untuk pembagi
  - a. Selisih impedansi positif dan negatif  
 $1.79260 \Omega - 1.76000 \Omega = 0.0326 \Omega$
  - b. Selisih impedansi nol  
 $5.35661 \Omega - 5.28000 \Omega = 0.07661 \Omega$
  - c. Selisih impedansi positif dan negatif dibagi dengan panjang *section* atau panjang hantaran dan dikalikan 1000 adalah  
 $0.0326 \Omega \div 123.39 = 0.0002642$   
 $0.0002642 \times 1000 = 0.2642$
  - d. Selisih impedansi nol dibagi dengan panjang *section* atau panjang hantaran dan dikalikan 1000 adalah  
 $0.07661 \Omega \div 123.39 = 0.0006208$   
 $0.0006208 \times 1000 = 0.6208$
  - e. Impedansi total ( $Z_n$ ) adalah

$$Z_n = \frac{Z_1 \times 2}{\sqrt{3}} = Z_n = (0.2642 \times 2) / \sqrt{3} = 0.3050 \Omega$$

3. Perhitungan estimasi jarak lokasi gangguan
  - a. Menghitung impedansi saluran pada bus ke-n dengan membagi tegangan terhadap arus pada saat terjadi gangguan  

$$11.547 \div 6.136 = 1.8818$$
  - b. Menghitung impedansi pada gardu induk  

$$11.547 \div 6.250 = 1.8475$$
  - c. Hasil pada tahap 3a dikurangi dengan impedansi gardu induk  

$$1.8818 - 1.8475 = 0.0343$$
  - d. Hasil pengurangan pada tahap 3c dibagi dengan nilai pembagi (Zn) yang telah didapatkan.  

$$0.0343 \div 0.3050 = 0.1124$$
  - e. Hasil pada tahap 3d kemudian dikalikan dengan 1000 untuk mendapatkan jarak dalam satuan meter.  

$$0.1124 \times 1000 = 112.4 \text{ m}$$

Dari perhitungan estimasi lokasi jarak gangguan yang dilakukan dengan menggunakan metode berbasis impedansi untuk gangguan *Line to Line* (gangguan fasa ke fasa) pada *section 2* atau pada saluran 2-3 didapatkan nilai 112.4 meter. Hasil tersebut mendekati panjang sebenarnya dari *section 2* yaitu 123.39 meter. Hasil dari simulasi penentuan lokasi gangguan dengan menggunakan metode berbasis impedansi untuk gangguan *line to line* atau gangguan 2 fasa pada setiap *section* dapat dilihat pada tabel 4.8 berikut.

**Tabel 4.8** Hasil simulasi estimasi lokasi gangguan *line to line*

Section	Dari	Ke	Estimasi	Lokasi	Selisih	Error (%)
1	BGRID	AF137	76.13	83.23	7.102	0.315
2	AF137	AF138	112.4	123.4	11	0.488
3	AF138	AF139	42.15	46.46	4.305	0.191
4	AF139	AF140	24.79	27.32	2.533	0.112
5	AF139	AF142	52.42	57.68	5.256	0.233
6	AF142	AF657	57.5	63.41	5.911	0.262
7	AF657	AF143	30.39	33.41	3.023	0.134
8	AF143	AF730	58.62	64.61	5.994	0.266
9	AF730	AF144	112.5	123.7	11.22	0.498
10	AF144	AF718	10.41	11.46	1.049	0.046
11	AF718	AF668	81.45	89.69	8.242	0.366
12	AF668	AF714	107.5	118.2	10.74	0.477

Lanjutan Tabel 4.8

Section	Dari	Ke	Estimasi	Lokasi	Selisih	Error (%)
13	AF668	AF145	73.7	81	7.304	0.324
14	AF145	AF146	231.1	254	22.9	1.017
15	AF145	AF147	162.4	178.6	16.16	0.718
16	AF145	AF148	203.2	223.7	20.41	0.906
17	AF148	AF149	73.66	81	7.341	0.326
18	AF149	AF150	16.47	18.1	1.632	0.072
19	AF150	AF151	177.7	195.5	17.74	0.788
20	AF150	AF152	174.5	192	17.47	0.776
21	AF150	AF153	181.7	200	18.27	0.811
22	AF153	AF154	29.71	32.66	2.95	0.131
23	AF154	AF156	64.77	71.26	6.495	0.288
24	AF156	AF158	19.41	21.36	1.953	0.086

Dari tabel 4.8 di atas yang merupakan hasil simulasi estimasi lokasi gangguan, dapat dianalisa bahwa hasil selisih lokasi dan estimasi lokasi gangguan berada pada data uji AF146 dikarenakan semakin panjang, panjang saluran yang ada dalam satu *section* maka semakin besar pula selisih jarak yang didapatkan.

#### 4.5 Perhitungan Estimasi Lokasi Jarak Gangguan pada Kasus 3

Setiap nilai yang didapatkan dari proses simulasi digunakan untuk menghitung estimasi jarak lokasi gangguan dengan menggunakan rumus dari persamaan metode impedansi. Pada setiap tipe gangguan memiliki nilai  $Z_n$  yang berbeda. Perhitungan estimasi jarak dengan menggunakan metode berbasis impedansi adalah sebagai berikut:

1. Parameter gangguan
  - a. Tipe gangguan adalah *Line to Line to Line* atau gangguan 3 fasa
  - b. Impedansi nol pada bus 1 adalah  $5.28000 \Omega$ , pada bus 4 adalah  $5.37398 \Omega$
  - c. Impedansi positif dan impedansi negatif pada bus 1 adalah  $1.76000 \Omega$ , bus 4 adalah  $1.80011 \Omega$
  - d. Arus gangguan pada bus 5 adalah  $7.217 \text{ kA}$
  - e. Panjang *section* 3 atau panjang hantaran dari bus 3 ke bus 4 adalah  $46.46 \text{ meter}$ .
2. Perhitungan nilai  $Z_n$  yang digunakan untuk pembagian
  - a. Selisih impedansi positif dan negatif

$$1.80011 \, \Omega - 1.76000 \, \Omega = 0.0401 \, \Omega$$

- b. Selisih impedansi nol

$$5.37398 \, \Omega - 5.28000 \, \Omega = 0.09398 \, \Omega$$

- c. Selisih impedansi positif dan negatif dibagi dengan panjang *section* atau panjang hantaran dan dikalikan 1000 adalah

$$0.0401 \, \Omega \div 46.46 = 0.0008631$$

$$0.0008631 \times 1000 = 0.8631$$

- d. Selisih impedansi nol dibagi dengan panjang *section* atau panjang hantaran dan dikalikan 1000 adalah

$$0.09398 \, \Omega \div 46.46 = 0.002022$$

$$0.002022 \times 1000 = 2.022$$

- e. Impedansi total ( $Z_n$ ) adalah

$$Z_n = Z_1 \text{ (impedansi positif)}$$

$$Z_n = 0.8631 \, \Omega$$

Didapatkan nilai pembagi adalah  $Z_n = 0.8631 \, \Omega$

3. Perhitungan estimasi jarak lokasi gangguan

- a. Menghitung impedansi saluran pada bus ke-n dengan membagi tegangan terhadap arus pada saat terjadi gangguan

$$11.547 \div 7.056 = 1.6364$$

- b. Menghitung impedansi pada gardu induk

$$11.547 \div 7.217 = 1.5999$$

- c. Hasil impedansi pada tahap 3a dikurangi dengan impedansi gardu induk

$$1.6364 - 1.5999 = 0.0365$$

- d. Hasil pengurangan pada tahap 3c dibagi dengan nilai pembagi ( $Z_n$ ) yang telah didapatkan.

$$0.0365 \div 0.8631 = 0.04229$$

- e. Hasil pada tahap 3d kemudian dikalikan dengan 1000 untuk mendapatkan jarak dalam satuan meter.


$$0.04229 \times 1000 = 42.29 \text{ m}$$

Dari perhitungan estimasi lokasi jarak gangguan yang dilakukan dengan menggunakan metode berbasis impedansi untuk gangguan *Line to Line to Line* atau gangguan 3 fasa pada *section* 4 atau pada saluran 4-5 didapatkan nilai 42.28 meter. Untuk hasil perhitungan dengan metode berbasis impedansi untuk tipe gangguan tiga fasa pada setiap *section* yang lain dapat dilihat pada tabel 4.9 sebagai berikut.

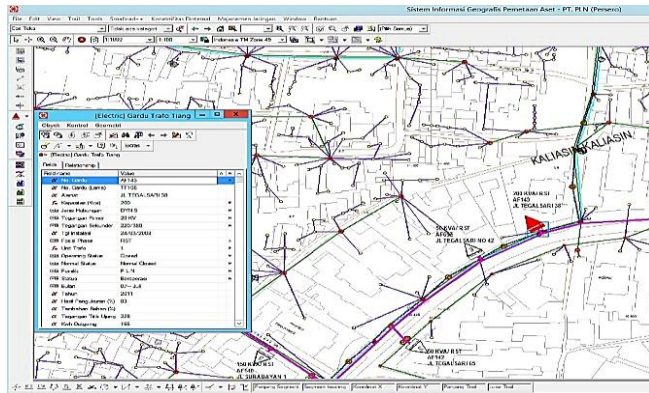
**Tabel 4.9** Hasil perhitungan estimasi lokasi gangguan 3 fasa

Section	Dari	Ke	Estimasi	Lokasi	Selisih	Error (%)
sect 1	BGRID	AF137	75.96	83.23	7.272	0.323
sect 2	AF137	AF138	112	123.4	11.43	0.508
sect 3	AF138	AF139	42.29	46.46	4.173	0.185
sect 4	AF139	AF140	24.81	27.32	2.508	0.111
sect 5	AF139	AF142	52.57	57.68	5.109	0.227
sect 6	AF142	AF657	57.77	63.41	5.64	0.25
sect 7	AF657	AF143	30.4	33.41	3.009	0.133
sect 8	AF143	AF730	58.76	64.61	5.849	0.259
sect 9	AF730	AF144	112.5	123.7	11.21	0.498
sect 10	AF144	AF718	10.41	11.46	1.046	0.046
sect 11	AF718	AF668	81.55	89.69	8.141	0.361
sect 12	AF668	AF714	107.6	118.2	10.64	0.472
sect 13	AF668	AF145	73.62	81	7.377	0.327
sect 14	AF145	AF146	230.8	254	23.21	1.031
sect 15	AF145	AF147	162.3	178.6	16.3	0.724
sect 16	AF145	AF148	203.2	223.7	20.47	0.909
sect 17	AF148	AF149	73.66	81	7.339	0.326
sect 18	AF149	AF150	16.45	18.1	1.646	0.073
sect 19	AF150	AF151	177.8	195.5	17.65	0.784
sect 20	AF150	AF152	174.5	192	17.55	0.779
sect 21	AF150	AF153	181.7	200	18.25	0.811
sect 22	AF153	AF154	29.68	32.66	2.979	0.132
sect 23	AF154	AF156	64.81	71.26	6.448	0.286
sect 24	AF156	AF158	19.43	21.36	1.932	0.085

#### 4.6 Tampilan Hasil Simulasi di *Geographical Information System (GIS)*

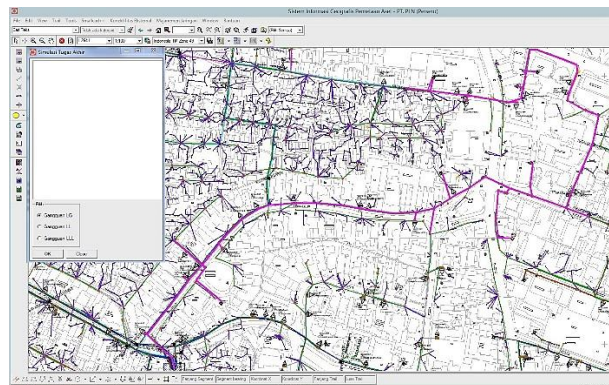
Lokasi penempatan, daya, dan tanggal instalasi pada transformator dapat diketahui dengan mengklik icon , dan memasukkan nomer atau nama transformator. Segitiga merah yang terdapat pada gambar 4.1 di bawah mewakili transformator yang ada.





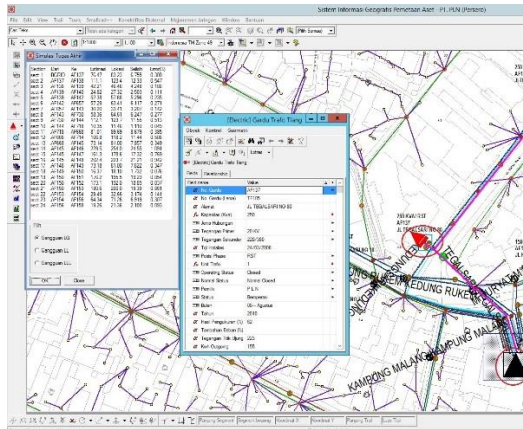
**Gambar 4.1** Tampilan lokasi transformator pada GIS

Garis merah muda yang tampil pada gambar 4.1 merupakan jaringan tegangan menengah. Setiap bus diwakili dengan nama kode transformer. Pada gambar 4.2 di bawah merupakan tampilan awal *running* simulasi dengan menggunakan metode impedansi.



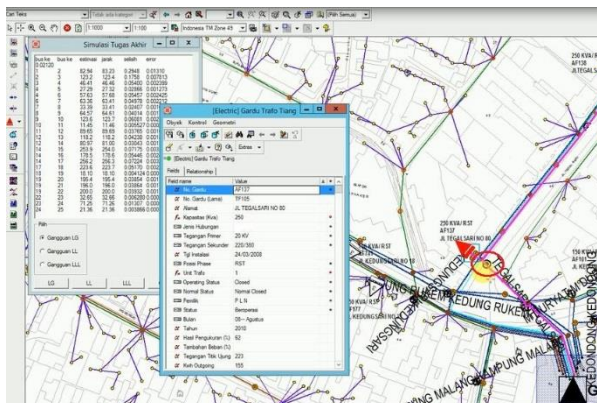
**Gambar 4.2** Tampilan awal *running* program simulasi

Estimasi lokasi gangguan setelah running program dapat dilihat pada gambar 4.3 di bawah, yang diujikan pada bus 2 (AF137) *section 1* antara bus 1 dan bus 2 dengan tipe gangguan satu fasa ke tanah dengan menggunakan perhitungan hasil dari ETAP 12.6.



**Gambar 4.3** Estimasi lokasi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah

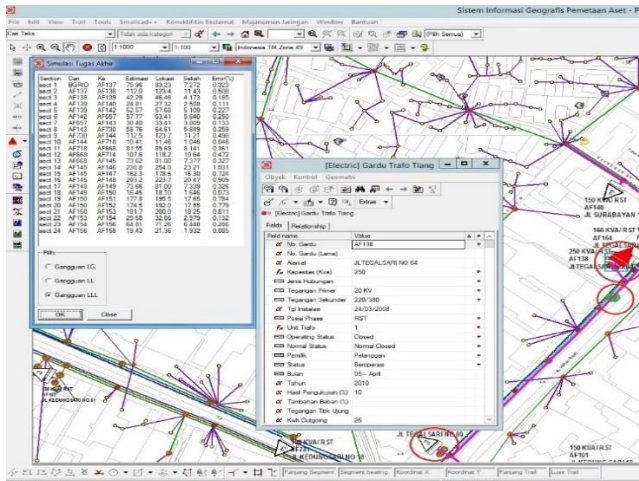
Pada gambar 4.4 di bawah ini merupakan simulasi estimasi lokasi gangguan hubung singkat dengan menggunakan penggabungan algoritma *direct building* dengan metode impedansi tipe gangguan satu fasa ke tanah



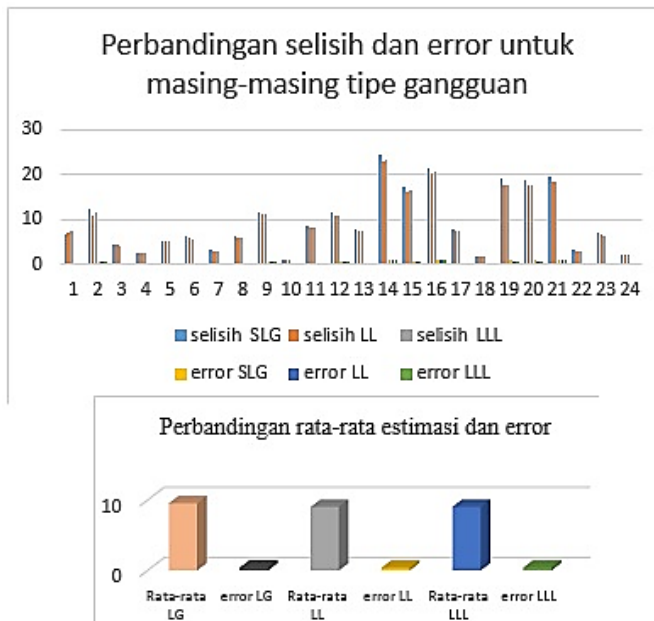
**Gambar 4.4** Estimasi lokasi gangguan satu fasa ke tanah dengan metode *direct building* dan impedansi

Terdapat lingkaran berwarna hijau untuk gambar 4.3 dan lingkaran berwarna hitam untuk gambar 4.4 yang menunjukkan estimasi lokasi





**Gambar 4.6** Simulasi dan estimasi lokasi gangguan tiga fasa



**Gambar 4.7** Rata-rata error dan selisih jarak estimasi lokasi gangguan

Dari gambar 4.7 di atas dari keseluruhan sistem yang diujikan didapatkan rata-rata error untuk gangguan tipe *satu fasa ke tanah* sebesar 0.424 % dengan selisih jarak rata-ratanya adalah 9.559 m, begitu pula dengan gangguan yang lain seperti gangguan hubung singkat *line to line* rata-rata kesalahan yang didapat dan selisih jarak yang didapat saat pengujian adalah 0.401% dan 9.04 m, untuk tipe gangguan tiga fasa didapatkan nilai rata-rata sebesar 9 m untuk selisih jarak estimasi dan 0.4% untuk perhitungan prosentase kesalahannya. Hasil yang didapatkan dapat menunjukkan bahwa sistem yang dibuat masih memiliki error. Tingginya error disebabkan kurangnya ketepatan jarak antar bus atau antar tiang yang panjang, menurunnya arus gangguan antar bus dan perbedaan nilai pembagi yang didapatkan dari nilai impedansi pada tiap titik yang mengalami gangguan. Jarak yang panjang pada jaringan distribusi mengharuskan adanya ketelitian yang tinggi dalam menghitung jarak lokasi gangguan.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil perhitungan estimasi lokasi gangguan hubung singkat tergantung pada nilai pembagi yang didapatkan dari kombinasi nilai impedansi positif, impedansi negatif, dan impedansi nol pada saat gangguan terjadi.
2. Hasil pengujian dan analisis menunjukkan bahwa identifikasi lokasi jarak gangguan hubung singkat dengan menggunakan metode berbasis impedansi dapat digunakan untuk menentukan estimasi lokasi jarak gangguan hubung singkat.
3. Hasil simulasi yang diujikan pada *GIS (Geographic Information System)* dapat memperlihatkan visualisasi lokasi titik estimasi jarak gangguan yang sebenarnya pada penyulang yang terjadi gangguan.
4. Hasil dari validasi dengan ETAP untuk perhitungan hubung singkat dengan menggunakan metode algoritma *direct building* didapatkan error sebesar 3.86 % untuk tipe gangguan satu fasa ke tanah, untuk *line to line* sebesar 1.090 % dan untuk tiga fasa adalah 3.014 % dan kombinasi algoritma *direct building* dan metode impedansi untuk tipe gangguan satu fasa ke tanah didapatkan hasil yang sangat mendekati nilai yang diujikan dengan error terkecil adalah 0.0001%.
5. Hasil estimasi lokasi jarak gangguan rata-rata error dan selisih jarak adalah sebesar 0.424% dan 9.559 m untuk tipe gangguan satu fasa ke tanah, untuk tipe gangguan *line to line* sebesar 0.401% dan 9.04 m, pada tipe gangguan tiga fasa sebesar 0.4% dan 9 m.

#### **5.2 Saran**

Saran yang dapat diberikan berdasarkan tugas akhir ini adalah

1. Perlu dilakukan pengujian lebih detail baik itu data maupun menggunakan metode yang berbeda sehingga dapat dibandingkan hasil yang didapatkan, dan akan mendapatkan keakuratan yang lebih tinggi.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ghasem Derakshan, Karim ROSHAN MILANI Amir ETEMAD Heidarali SHAYANFAR and Usef Sarafranz, 2013, "*Management and Operation of Electricity Distribution networks on Geographic Information system*", Stockholm, CIRED. 2013
- [2] Christophe Prévê, "*Protection of Electrical Networks*", Antony Rowe Ltd, Chippenham, Wiltshire, pp 77-111, 2006
- [3] Saha, M.M., Izykowski J., Rosolowski E., "*Fault Location on Power Network*", Sringre, Sweden, 2010
- [4] H.Mokhlis, L.J.Awalin et al, "*Three Phase Fault Algorithm in Distribution System by Using Database Approach and Impedance Based Method*" IEEE International Conference on Power and Energy (PECon), Kota Kinabalu Sabah, Malaysia, 2012
- [5] R. Das "*Determining The Locations of Fault in Distribution Systems*" Ph.D Thesis. College of Graduate Studies and Research, University of Savkochrwatr, Saskatchewan, 1998.
- [6] Friska Luvia Narulita, "*Prediksi Lokasi Gangguan jaring Distribusi Listrik Berbasis Peta Google Earth dan Single Line Diagram*", Jurnal Teknik POMITS Vol.10, No.1, Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya, 2012.
- [7] Joko Wigati Katresnan, "*Penggunaan Substation Automation System untuk Managemen Gangguan dan Analisis Sistem Distribusi Tenaga Listrik pada Sistem Jaringan Distribusi 20kV Kota surabaya*", Tugas Akhir Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2014.
- [8] Marsudi, Djiteng, "*Operasi Sistem Tenaga Listrik*", Balai Penerbit dan Humas ISTN, Jakarta Selatan, 1990.
- [9] R Wahyudi, Ir, *Diktat Kuliah Sistem Pengaman Tenaga Listrik*, 2008.
- [10] L J Awaln et al, "*Recent Developments in Fault Location Methods for Distribution Networks*" Przegląd Elektrotechniczny, ISSN 0033-2097, R. 88 NR 12a/2012.
- [11] Gönen Turan, "*Electric Power Distribution System Engineering*" CRC Press , 2008.
- [12] Teng Jen-Hao, "*Systematic Short-circuit Analysis Method for Unbalanced Distribution Systems*", IEE, Proc.-Gener. Transm. Distrib, Vol 152, No. 4, July 2005.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap **Thoriq Aziz Al Qoyyimi**, biasa dipanggil Thoriq. Lahir di Sragen Jawa Tengah pada tanggal 12 April tahun 1993. Penulis memulai pendidikan di Sekolah Dasar Negeri 4 Sragen, kemudian melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 1 Sragen dan sekolah menengah atas di SMA Negeri 1 Sragen. Pada tahun 2011, penulis melanjutkan pendidikan jenjang Diploma 3 di Universitas Gadjah Mada dengan

program studi Teknik Listrik. Pada tahun 2014 penulis menyelesaikan pendidikan Diploma 3. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan ke jenjang Sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dengan program studi Teknik Sistem Tenaga Jurusan Teknik Elektro.

email: [thoriq.aziz.a@gmail.com](mailto:thoriq.aziz.a@gmail.com)

*Halaman ini sengaja dikosongkan*